

**PENGARUH LIMBAH BATU *ONYX* SEBAGAI PENGGANTI  
AGREGAT KASAR BETON TERHADAP KUAT LENTUR BALOK  
BETON BERTULANG**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**EKA FAJAR SUPRAYITNO  
NIM. 145060100111039**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH LIMBAH BATU *ONYX* SEBAGAI PENGGANTI  
AGREGAT KASAR BETON TERHADAP KUAT LENTUR BALOK  
BETON BERTULANG  
SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**EKA FAJAR SUPRAYITNO**  
**NIM. 145060100111039**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 21 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Ir. Edhi Wahyuni S, MT.**  
NIP. 19570616 198601 2 001

**Dr. Ir. Wisnumurti, MT.**  
NIP. 19641207 199002 1 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

**Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)**  
NIP. 19810220 200604 1 002

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

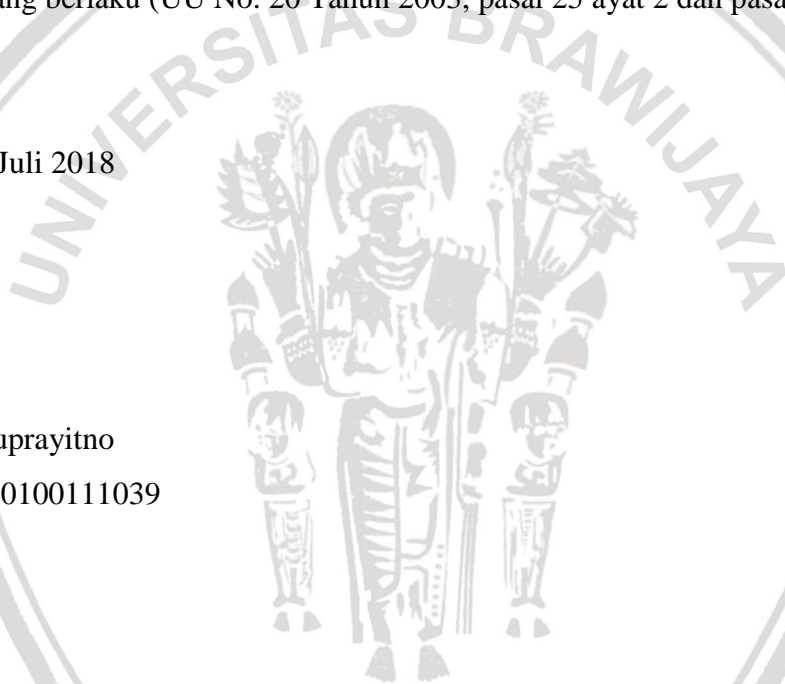
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Juli 2018

Mahasiswa,

Eka Fajar Suprayitno

NIM. 145060100111039



## RIWAYAT HIDUP

Eka Fajar Suprayitno lahir di Nganjuk, 20 Mei 1995. Anak dari Bapak Lamin dan Ibu Warti. Lulus SD di SDN Ngudikan III tahun 2007. Setelah itu lulus SMP di SMPN 5 Nganjuk tahun 2010. Selanjutnya lulus SMA di SMAN 3 Nganjuk tahun 2013. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2018.

Selama menjalani studi di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang penulis pernah mengikuti kompetisi desain *Seawall* DEDIKASI 2017 di Makassar serta pernah menjadi Asisten Praktikum di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi tahun 2017.

Malang, 21 Juli 2018

Penulis







## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH LIMBAH BATU ONYX SEBAGAI PENGANTI AGREGAT KASAR BETON TERHADAP KUAT LENTUR BALOK BETON BERTULANG”** dengan baik dan lancar. Skripsi ini merupakan persyaratan terakhir akademis yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Tentunya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar karena bantuan dari banyak pihak. Karena itu, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. **Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST, M.Eng (Prac.)** selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. **Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT** selaku Dosen Pembimbing Akademik.
4. **Dr. Ir. Edhi Wahyuni Setyowati, MT** selaku Dosen Pembimbing 1 Skripsi.
5. **Dr. Ir. Wisnumurti, MT** selaku KKDK Struktur sekaligus Dosen Pembimbing 2 Skripsi.
6. **Keluarga Saya** yang selalu memberi semangat dan selalu mendukung.
7. **TIM SKRIPIK JP** (Wentri, Yusar, Aqli) yang telah berjuang bersama.
8. **Jingga Kelana.**
9. **Teknik Sipil 2014.**
10. Dan semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan skripsi ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 21 Juli 2018

Eka Fajar Suprayitno







## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	i
<b>DAFTAR ISI .....</b>	iii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	xi
<b>RINGKASAN.....</b>	xiii
<b>SUMARRY .....</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II DASAR TEORI .....</b>	5
2.1 Beton .....	5
2.1.1 Semen .....	5
2.1.2 Agregat Halus .....	7
2.1.3 Agregat Kasar .....	8
2.1.3.1 Tekstur dan Bentuk Agregat .....	8
2.1.3.2 Ikatan Agregat .....	9
2.1.4 Batu <i>Onyx</i> .....	10
2.1.5 Air .....	12
2.1.6 Mix Desain .....	13
2.3 Beton Bertulang .....	14
2.3.1 Kekuatan Beton Bertulang .....	14
2.4 Tulangan .....	15
2.5 Balok .....	15
2.6 Blok Tegangan Ekuivalen Beton .....	17
2.7 Kuat Lentur Balok Beton Bertulang .....	19

2.7 Hasil Penelitian Sebelumnya .....	21
2.8 Hipotesis Penelitian.....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	25
3.3 Analisis Bahan .....	26
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.5 Rancangan Penelitian .....	28
3.6 Persiapan Benda Uji .....	30
3.6.1 Pengujian Kuat Tekan .....	30
3.6.2 Pengujian Kuat Lentur Balok .....	31
3.7 Variabel Penelitian .....	31
3.8 Metode Pengumpulan Data .....	32
3.9 Analisis Data .....	32
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
4.1 Pengujian bahan – bahan pembuatan beton .....	35
4.1.1 Semen .....	35
4.1.2 Air .....	35
4.1.3 Agregat Halus .....	36
4.1.3.1 Pengujian Gradasi Agregat Halus .....	36
4.1.3.2 Pengujian Kadar Air Agregat Halus .....	36
4.1.3.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus .....	37
4.1.4 Agregat Kasar Kerikil .....	38
4.1.4.1 Pengujian Gradasi Agregat Kerikil .....	38
4.1.4.2 Pengujian Kadar Air Agregat Kerikil .....	38
4.1.4.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kerikil ....	39
4.1.5 Agragat Kasar <i>Onyx</i> .....	40
4.1.5.1 Pengujian Gradasi Agregat <i>Onyx</i> .....	40
4.1.5.2 Pengujian Kadar Air Agregat <i>Onyx</i> .....	40
4.1.5.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat <i>Onyx</i> .....	41
4.2 Mix Desain .....	42
4.3 Campuran Beton .....	42
4.4. Pengujian Beton Segar .....	43

4.5 Pengujian Kuat Tekan .....	45
4.6 Pengujian Kuat Tarik Baja .....	51
4.7 Analisis Perhitungan Beban Maksimum (P) Teoritis .....	53
4.7.1 Pemodelan Struktur .....	53
4.7.2 Analisis P Maksimum .....	53
4.8 Perawatan Beton .....	55
4.9 Pengujian Balok Beton .....	56
4.9.1 Kuat Lentur Balok Uji .....	56
4.10 Uji Hipotesis .....	58
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>67</b>





## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Batasan Gradasi Agregat Halus SNI 03-2834-200.....	7
Tabel 2.2	Persyaratan Batas-Batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar Sesuai SNI 03-2834-2000 .....	10
Tabel 2.3	Sifat Mekanik <i>Onyx</i> .....	11
Tabel 3.1	Jumlah Benda Uji Beton .....	28
Tabel 3.2	Jumlah Benda Uji Balok.....	28
Tabel 3.3	Volume Benda Uji.....	29
Tabel 3.4	Kebutuhan Material Benda Uji.....	29
Tabel 3.5	Detail Penulangan Balok.....	29
Tabel 3.6	Variabel Penelitian .....	32
Tabel 4.1	Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus.....	36
Tabel 4.2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	37
Tabel 4.3	Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kerikil.....	38
Tabel 4.4	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kerikil.....	39
Tabel 4.5	Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat <i>Onyx</i> .....	40
Tabel 4.6	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat <i>Onyx</i> .....	41
Tabel 4.7	Perhitungan Mix Desain .....	42
Tabel 4.8	Campuran Beton Normal .....	42
Tabel 4.9	Campuran beton <i>Onyx</i> .....	43
Tabel 4.10	Tabel Pengujian Slum Beton Normal dan <i>Onyx</i> .....	43
Tabel 4.11	Kuat Tekan Beton Normal.....	45
Tabel 4.12	Kuat Tekan Beton <i>Onyx</i> .....	46
Tabel 4.13	Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton <i>Onyx</i> .....	48
Tabel 4.14	Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton Normal.....	49
Tabel 4.15	Perbandingan Nilai <i>Onyx</i> dan Normal.....	49
Tabel 4.16	Mutu baja Ø8.....	51
Tabel 4.17	Mutu baja Ø12.....	52
Tabel 4.18	Hasil Perhitungan Teoritis Kapasitas Lentur Balok Beton .....	55
Tabel 4.19	Kuat Lentur Balok Beton Agregat Limbah Batu <i>Onyx</i> .....	56
Tabel 4.20	Kuat Lentur Balok Beton Agregat Kerikil .....	57

Tabel 4.21	Perhitungan Rata-Rata Kuat Lentur Balok Agregat Limbah Batu Onyx .....	59
Tabel 4.22	Perhitungan Rata-Rata Kuat Lentur Balok Agregat Kerikil .....	60
Tabel 4.23	Perbandingan Nilai Onyx dan Normal .....	60





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Macam – macam bentuk agregat (a) Well rounded, (b) Rounded, (c) Stubrounded, (d) Subangular, (d) Angular .....	9
Gambar 2.2	Limbah Produksi Kerajinan Batu <i>onyx</i> .....	12
Gambar 2.3	Kurva tegangan-regangan baja .....	15
Gambar 2.4	Lentur pada Balok .....	16
Gambar 2.5	Balok Sederhana .....	16
Gambar 2.6	Balok Kantilever .....	16
Gambar 2.7	Balok Overhang .....	17
Gambar 2.8	Disrtibusi tegangan dan regangan pada penampang beton bertulang yang retak dan transformasinya : (a) penampang melintang; (b) regangan; (c) tegangan elastis dan gaya; (d) beton retak sebelum terjadinya keruntuhan lentur.....	18
Gambar 2.9	Detail Parameter Blok Tegangan Ekvivalen .....	19
Gambar 2.10	(a) Potongan Melintang Balok Beton Bertulangan Tunggal, (b) Distribusi Regangan, (c) Distribusi Tegangan, (d) Gaya Dalam .....	20
Gambar 3.1	Diagram Penelitian.....	27
Gambar 3.2	Setting Pengujian Kuat Tekan.....	30
Gambar 3.3	Setting Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang.....	31
Gambar 4.1	Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat halus.....	36
Gambar 4.2	Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat kasar normal.....	38
Gambar 4.3	Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat kasar <i>Onyx</i> .....	40
Gambar 4.4	Distribusi T satu arah uji tekan.....	50
Gambar 4.5	Pemodelan Pembebanan Struktur .....	53
Gambar 4.6	Grafik kuat lentur balok beton bertulang agregat limbah batu onyx .....	56
Gambar 4.7	Grafik kuat lentur balok beton bertulang agregat kerikil .....	57
Gambar 4.8	Grafik perbandingan kuat lentur balok beton bertulang agregat kerikil dengan limbah batu onyx .....	58
Gambar 4.9	Distribusi T satu arah uji kuat lentur .....	61





## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	DATA PENGUJIAN MATERIAL PEMBUATAN BETON NORMAL DAN <i>ONYX</i> .....	69
Lampiran 2	DATA PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON.....	82
Lampiran 3	DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA.....	84
Lampiran 4	ANALISIS BALOK.....	86
Lampiran 5	PERHITUNGAN BEBAN IJIN BALOK BETON BERTULANG NORMAL DAN <i>ONYX</i> .....	93
Lampiran 6	DOKUMENTASI PENELITIAN .....	94





## RINGKASAN

**Eka Fajar Suprayitno**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Beton Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang*, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Edhi Wahyuni S, MT dan Dr. Ir. Wisnumurti, MT

Agregat kasar merupakan salah satu material beton yang memiliki volume 60% sampai dengan 80% campuran beton. Umumnya agregat kasar yang digunakan adalah kerikil dan batu pecah. Kerikil ini ditambang dari sungai yang mengakibatkan erosi dan berubahnya morfologi sungai. Penduduk Gamping merupakan salah satu pemasok limbah pecahan batu *onyx* hasil produksi kerajinan *onyx* yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu alternatif pemanfaatan limbah tersebut yaitu dengan menggunakannya sebagai pengganti agregat kasar pada beton struktural. Dalam desain beton bertulang struktural kuat lentur merupakan salah satu parameter kekuatan beton. Bila limbah batu *onyx* digunakan sebagai agregat kasar balok beton bertulang maka perlu diteliti perbedaan kuat lentur balok beton bertulang agregat kerikil dengan limbah batu *onyx*.

Dalam penelitian ini dibuat dua jenis benda uji yaitu balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang limbah *onyx*. Penelitian yang dilakukan dengan pembuatan benda uji silinder dan balok beton bertulang dengan dimensi 0,15 x 0,25 x 2 meter. Pengujian lentur dilakukan dengan pembebanan bertahap hingga mencapai beban maksimum. Dari hasil pengamatan dilakukan analisis data secara uji statistik independent sample T-test.

Hasil pengujian yang dilakukan kuat tekan rata – rata beton normal lebih besar dari kuat tekan rata – rata beton limbah *onyx* yaitu sebesar 7.858 %. Kuat lentur rata-rata balok beton bertulang agregat limbah batu *onyx* 1725,63 kgm dan Kuat lentur rata-rata balok beton bertulang agregat kerikil 1728,38 kgm. Dari hasil analisis statistik dengan signifikansi 5% menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kuat lentur balok beton bertulang agregat limbah batu *onyx* dengan balok beton bertulang agregat kerikil. Dapat disimpulkan bahwa limbah batu *onyx* layak digunakan sebagai agregat kasar beton struktural.

Kata Kunci: balok beton bertulang, agregat limbah batu *onyx*, kuat lentur.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*



## SUMMARY

**Eka Fajar Suprayitno**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, February 2018, *The Effect of Onyx Stone Waste as Substitute of Coarse Aggregate of Concrete Against Reinforced Concrete Beam Flexural Strength*, Academic Supervisor: Dr. Ir. Edhi Wahyuni S, MT and Dr. Ir. Wisnumurti, MT

Coarse aggregate is one of the concrete-forming materials with the largest volume requirement in the mixture of about 60% to 80% by volume of aggregate. Gravel and crushed rocks are the most used material for coarse aggregate. River where the gravel mining located taking damage from erosion and change the river morphology. Gamping residents is one of onyx stone waste fraction supplier to date have not processed optimally, one alternative is to utilize waste onyx stone as a concrete aggregate. In the reinforced concrete design process flexural strength is one of concrete strength parameter. When onyx stone waste used as coarse aggregate for reinforced concrete beam, it is necessary to examine flexural strength difference between Normal Reinforced Concrete and Onyx Waste Reinforced Concrete.

In this research, two types of specimens beams are Normal Reinforced Concrete and Onyx Waste Reinforced Concrete. Research conducted with the manufacture of cylindrical test objects and reinforced concrete beams with dimensions of 0.15 x 0.25 x 2 meters. As well as bending tests with burdened with gradually load until maximum load achieved.. From result of observation done by statistical test of independent sample t-test.

The result of average test that was done by compressive strength of normal concrete was bigger than the average compressive strength of onyx waste concrete that is equal to 7.858%. Average reinforced concrete beam with onyx stone waste aggregate flexural strength is 1725,63 kgm where reinforced reinforced concrete beam with normal aggregate flexural strength is 1728,38 kgm. Statistical analysis with 5% significant represent there is no difference in flexural strength between Normal Reinforced Concrete and Onyx Waste Reinforced Concrete. It showed that onyx waste stone is worthy for structural concrete aggregate.

**Keywords:** reinforced concrete beam, aggregate onyx stone waste, flexural strength.



*Halaman ini sengaja dikosongkan.*





## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Salah satu material yang sering digunakan dalam bidang konstruksi adalah beton. Pada umumnya beton terbuat dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Agregat kasar yang umum digunakan adalah kerikil, material ini didapatkan dari penambangan pada sungai yang kemudian diproses dengan alat yang disesuaikan dengan desain gradasi agregat beton. Namun dengan meningkatnya populasi, kebutuhan beton untuk konstruksi, untuk pembangunan hunian misalnya, semakin meningkat. Maka kebutuhan untuk material pembuat beton juga meningkat. Terutama kebutuhan agregat, karena dalam beton terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. (Lollino et al., 2015) dalam penelitian studi kasus penambangan kerikil pada Sungai Orco yang terletak di daerah barat laut Italia menyatakan bahwa akibat penambangan kerikil :

- i. Erosi pada dasar sungai.
- ii. Terpicunya erosi yang menyebar pada daerah hulu sepanjang 3,5 km.
- iii. Erosi pada hilir sungai sepanjang 2 km.
- iv. Terjadinya pengendapan sedimen pada lokasi penambangan kerikil.

(Kondolf, 1997) juga menyebut bahwa kegiatan penambangan berdampak pada habitat alam liar yang bergantung pada batuan yang sebelumnya ada pada daerah galian tambang, serta menurunnya muka air tanah. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mencari alternatif penggunaan agregat kasar selain kerikil agar dampak akibat penambangan kerikil bisa dikurangi.

Desa Gamping, Kecamatan Campur Darat, Tulungagung merupakan salah satu produsen furniture berbahan dasar batu onyx terbesar di Indonesia. Di daerah tersebut mayoritas penduduk memiliki *workshop* masing-masing untuk memproduksi kerajinan furniture batu onyx. Dengan banyaknya penduduk sebagai perajin furniture, daerah Gamping juga menjadi tempat berkumpulnya limbah batu onyx dalam jumlah besar. Penduduk Gamping sampai saat ini belum mengolah limbah batu onyx secara optimal, salah satu pilihan untuk memanfaatkan limbah batu onyx adalah dengan menggunakannya sebagai agregat beton.

(Khosemde, 2016) menyebut bahwa limbah batu onyx yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada beton mampu memperbaiki nilai porositas beton.

Dalam elemen struktur beban yang bekerja akan mengakibatkan lentur dan deformasi. Bila beton dengan agregat onyx digunakan sebagai balok maka perlu dilakukan peninjauan mengenai kuat lentur akibat pengaruh agregat onyx pada balok bertulangan tersebut. Sesuai dengan pembahasan diatas, maka akan dilaksanakan penelitian balok beton bertulang dengan agregat onyx yang ditinjau besar kuat lenturnya terhadap balok beton bertulang dengan agregat kerikil, dalam penelitian ini menggunakan tulangan tunggal sebagai penahan tarik baloknya.

### **1.2. Identifikasi Masalah**

Bertambahnya populasi mendorong laju pembangunan kian meningkat. Salah satu material konstruksi yang banyak digunakan adalah beton. Peningkatan laju pembangunan berarti juga menambah kebutuhan material campuran beton. Agregat kasar beton lazimnya menggunakan kerikil, namun proses penambangan kerikil di sungai berdampak negatif bagi morfologi sungai dan ekosistem di dalam sungai. Untuk itu perlu dilakukan penelitian guna menemukan pengganti agregat kasar beton yang lebih ramah lingkungan.

Limbah onyx merupakan sisa batu onyx yang tidak dimanfaatkan lagi oleh perajin furniture onyx. Desa Campurdarat, Tulungagung merupakan pusat produsen furniture onyx yang menghasilkan limbah onyx dalam jumlah banyak yang lama-kelamaan akan mengganggu lingkungan bila tidak dimanfaatkan secara baik.

Dengan demikian akan dilakukan kajian mengenai kuat lentur beton agregat limbah onyx akibat pembebanan luar dibandingkan dengan kuat lentur beton agregat kerikil sebagai balok bertulangan tunggal.

### **1.3. Rumusan Masalah**

Dari penjelasan sebelumnya didapatkan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah penggunaan limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar beton berpengaruh pada kuat tekan beton jika dibandingkan dengan beton agregat kerikil?
2. Apakah penggunaan limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar pada balok beton bertulang menjadikan perbedaan pada kuat lentur jika dibandingkan dengan balok beton bertulang agregat kerikil?

3. Bagaimana perbedaan kuat lentur balok bertulangan tunggal agregat limbah batu onyx dengan beton normal?
4. Apakah limbah batu onyx layak digunakan sebagai agregat kasar beton struktural?

#### 1.4. Batasan Masalah

Karena terbatasnya waktu serta luasnya objek kajian maka dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah. Berikut adalah pembatasan masalah tersebut:

- a. Agregat kasar onyx yang dipakai adalah didapatkan dari daerah Gamping, Kec. Campur Darat Kabupaten Tulung Agung.
- b. *Mix design* yang digunakan sesuai dengan penelitian yang telah dilaksanakan oleh Raya (2016), karena telah didapatkan proporsi campuran yang terbaik untuk beton dengan agregat *Onyx* dengan nilai FAS sebesar 0,4.
- c. Perubahan kimia tidak diteliti.
- d. Lendutan diamati sampai pada beban ultimate
- e. Uji kuat tekan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder.
- f. Peraturan perencanaan kekuatan balok beton bertulang yang digunakan adalah SNI 03-2847-2013 tentang analisa beton bertulang.
- g. Tidak dilakukan analisis ekonomis.

#### 1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui ada atau tidaknya perbedaan kuat tekan beton agregat limbah batu onyx dengan beton agregat kerikil.
2. Mengetahui ada atau tidaknya perbedaan kuat lentur balok beton bertulang agregat limbah batu onyx dengan balok beton bertulang agregat kerikil.
3. Mendapatkan perbedaan kuat lentur balok beton bertulang dengan agregat limbah batu onyx dengan balok beton bertulang agregat kerikil.
4. Mengetahui layak atau tidaknya limbah batu onyx sebagai agregat kasar beton struktural.

#### 1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Limbah batu onyx dapat dimanfaatkan lebih baik dengan digunakannya sebagai agregat kasar beton struktural terutama masyarakat sekitar Desa Campurdarat.
2. Alternatif agregat kasar pada beton struktural yang lebih ramah lingkungan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Beton

Beton merupakan material komposit yang terdiri dari agregat, umumnya pasir dan kerikil, terikat secara kimiawi dengan semen portland yang terhidrasi. Ukuran agregat umumnya tergradasi dari pasir hingga kerikil, dengan ukuran kerikil maksimum dalam beton struktural biasanya  $\frac{3}{4}$  in., meskipun agregat berukuran  $\frac{3}{8}$  in. atau  $1\frac{1}{2}$  in. juga memungkinkan untuk digunakan (Wight dan MacGregor, 2011).

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari (Mulyono, 2004 : 19).

##### 2.1.1 Semen

Nawy (2008:9) menjelaskan, semen portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu. Berat jenisnya berkisar antara 3,12 dan 3,16, dan berat volume satu sak semen adalah  $1506 \text{ kg/m}^3$ .

Bahan baku pembentuk semen adalah :

1. Kapur ( $\text{CaO}$ ) – dari batu kapur,
2. Silica ( $\text{SiO}_2$ ) – dari lempung,
3. Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – dari lempung

(dengan sedikit persentase magnesia,  $\text{MgO}$ , dan terkadang sedikit alkali). Oksida besi terkadang ditambahkan untuk mengontrol komposisinya.

Dalam proses pembuatan beton semen berfungsi sebagai perekat hidrolis campuran. Perekat hidrolis sendiri adalah suatu bahan yang apabila dicampur dengan air akan membentuk pasta kemudian mengeras dan setelah mengeras tidak larut kembali dalam air. Pengikatan ini terjadi akibat adanya rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* yang menghasilkan gel semen saat semen terhidrasi.



Dalam SNI 15-0302-2004 menjelaskan, semen portland pozolan merupakan suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan. Pozolan sendiri merupakan bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

Semen sangat berpengaruh dalam hasil akhir beton yang dicetak. Nawy (2008) menjelaskan bahwa ukuran partikel semen memiliki pengaruh yang besar terhadap kelajuan reaksi antara semen dan air. Untuk suatu berat tertentu, semen halus memiliki luas permukaan partikel yang lebih besar daripada semen yang kasar. Ini menyebabkan kecepatan reaksi antara semen dengan air lebih tinggi, yang berarti proses pengerasan akan lebih cepat untuk yang permukaannya lebih besar. Sifat yang berhubungan dengan pengaruh kehalusan butiran semen adalah :

1. Kekuatan awal beton yang tinggi
2. Cepat berkurangnya mutu semen jika terpengaruh cuaca
3. Reaksi kuat dengan bahan-bahan yang reaktif
4. Mengurangi retak-retak
5. Daya penyusutan beton yang tinggi
6. Pengikatan awal yang cepat
7. Kebutuhan air pada beton yang lebih banyak
8. Mengurangi *bleeding* ketika proses pengecoran

Disintegrasi beton akibat pembasahan, pendinginan, pencairan, dan pengeringan, juga penjaralan retak, merupakan hal-hal yang sangat penting. Adanya rongga-rongga udara pada pasta semen menambah daya tahan beton terhadap disintegrasi. Ini dapat dicapai dengan penambahan campuran tambahan pada waktu pengadukan yang menghasilkan *air-entrained* pada beton.

### 2.1.2 Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang memiliki ukuran butir antara 4,75 mm sampai dengan 0,150 mm. Agregat halus dapat berupa pasir alam, pasir olahan atau gabungan dari kedua jenis pasir tersebut. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan no.100 (0,150 mm), atau bahan-bahan lain yang dapat merusak campuran beton (Nawy, 2008:15). Variasi ukuran butir agregat halus harus mempunyai gradasi yang baik agar didapatkan kepadatan maksimum dari beton. Persyaratan gradasi agregat halus sebagai berikut:

Tabel 2.1 Batasan Gradasi Agaregat Halus SNI 03-2834-2000

Lubang Ayakan (mm)	Persen bahan butiran yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 03-2834-2000

Keterangan : Daerah I : Pasir kasar                      Daerah III : Pasir agak halus  
Daerah II : Pasir agak kasar                      Daerah IV : Pasir halus

- Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus sesuai ASTM C-33 yaitu 2,20%-3,10%.  
MHB 2,5 s/d 3,0 disarankan untuk beton mutu tinggi.
- Berat jenis (*specific gravity*) agregat halus sesuai ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20 kg/liter.
- Absorpsi (penyerapan air) sesuai ASTM C-33 yaitu 0,2%-2,0%.
- Spesifikasi berat volume sesuai ASTM C-33 yaitu 3%-5%.
- Kadar lumpur agregat halus sesuai spesifikasi ASTM C-33 yaitu 0,2%-6,0%.



### 2.1.3 Agregat kasar

Agregat kasar berdasarkan ASTM C-33, memiliki batas bawah pada ukuran 4,75 mm atau ukuran saringan no.4 (ASTM). (Nawy, 2008:14) menjelaskan, agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi  $\frac{1}{4}$  in. (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen.

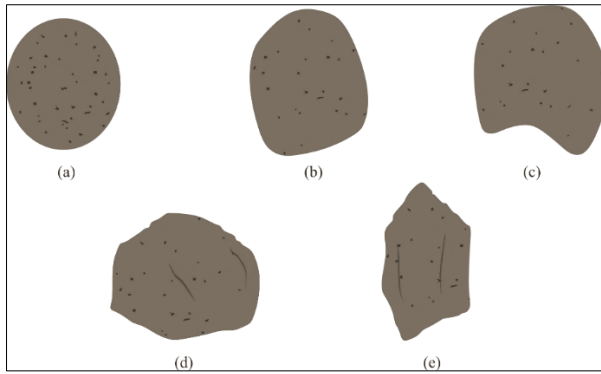
Jenis agregat kasar yang umum digunakan adalah :

1. Batu pecah alami, didapatkan dari cadas atau batu pecah alami yang digali.
2. Kerikil alami, didapatkan dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
3. Agregat kasar buatan, berupa *slag* atau *shale* yang digunakan untuk beton berbobot ringan.

#### 2.1.3.1 Tekstur dan bentuk agregat

Agregat untuk pembuatan beton memiliki ukuran dan bentuk tertentu yang sangat bervariasi. Ukuran dan bentuk dari agregat adalah satu hal yang penting dalam karakteristik agregat. Dalam hal ini terdapat istilah *roundness*, yaitu ukuran relatif besarnya sudut – sudut dari tepi agregat. *Roundness* pada umumnya dikontrol oleh kekuatan dan ketahanan dari batu induk. Dalam kasus *crushed aggregates*, bentuk dari agregat bergantung pada kondisi alam dari batu induk dan tipe penghancuran serta rasio reduksinya, yaitu rasio ukuran dari material yang dimasukkan kedalam alat penghancur dengan produk agregat yang dihasilkan. Klasifikasi dari bentuk agregat pada umumnya adalah sebagai berikut :

- a) *Well rounded* – bentuk asli dari batuan induk sudah tidak ada
- b) *Rounded* – bentuk asli batuan induk sudah hampir hilang
- c) *Subrounded* – permukaan sudah halus namun bentuk asli batu induk masih tetap ada
- d) *Subangular* – terdapat permukaan yang halus
- e) *Angular* – bentuk tidak teratur



Gambar 2.1 Macam – macam bentuk agregat : (a) *Well rounded*, (b) *Rounded*, (c) *Subrounded*, (d) *Subangular*, (d) *Angular*

Selain dari bentuk agregat, perlu diperhatikan pula tekstur permukaan agregat. Tekstur permukaan agregat ini bergantung pada kekerasannya, ukuran butiran, porositas dari material induknya, dan juga besarnya energi yang terjadi pada permukaan, membuat agregat lebih halus atau lebih kasar. Klasifikasi tekstur permukaan agregat ini didasarkan pada derajat apakah permukaan agregat licin atau tidak, halus atau kasar.

Bentuk dan tekstur permukaan dari agregat mempengaruhi kekuatan dari beton, dimana *flexural strength* lebih terpengaruh dibandingkan dengan *compressive strength*. Pengaruh ini didasarkan pada asumsi bahwa tekstur yang lebih kasar akan menghasilkan kekuatan adhesi yang lebih besar antar partikel dengan matriks semen. Sama halnya dengan semakin luas permukaan agregat maka semakin besar kekuatan adhesi yang dihasilkan. Namun disatu sisi, dengan digunakannya agregat yang permukaannya kasar, akan menyebabkan dibutuhkan air yang lebih banyak pada campuran beton.

#### 2.1.3.2 Ikatan Agregat

Ikatan antar agregat dan pasta semen adalah faktor penting dalam menyumbang kekuatan beton, terutama dalam kuat tariknya. Pada permukaan yang kasar, seperti pecahan batu, akan memberikan ikatan yang lebih kuat dengan pasta semen. Ikatan yang lebih baik juga didapat dari partikel yang kandungan mineralnya heterogen dan bersifat porous. Selain itu, ikatan agregat juga dipengaruhi oleh properti fisik dan kimiawi dari agregat, yang berhubungan dengan komposisi mineral serta kimiawi dan kondisi elektrostatis dari permukaan agregat.

Dalam perencanaan beton, salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah *workability*. Dengan *workability* yang cukup, segregasi pada beton akan berkurang sehingga didapatkan kepadatan beton yang maksimum. Distribusi ukuran agregat berpengaruh pada kemudahan pengerjaan beton. Gradasi agregat yang baik adalah agregat yang memiliki distribusi ukuran

butir agregat yang beraturan. Gradasi agregat yang demikian akan memberikan kepadatan yang cukup untuk mengoptimalkan kekuatan akhir beton.

Dalam SNI 03-2834-2000 terdapat syarat mengenai batasan gradasi agregat kasar sebagai berikut :

Tabel 2.2 Persyaratan Batasan Gradasi Untuk Agregat Kasar Sesuai SNI 03-2834-2000

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38 – 4,76	19 – 4,76	9,6 – 4,76
38,1	95 – 100	100	
19	37 – 70	95 – 100	100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 - 5	0 – 10	0 – 10

Sumber : SNI 03-2834-2000

Modulus Halus Butir (MHB), modulus kehalusan butir (*Fineness Modulus*) atau MHB, spesifikasi modulus halus butir agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu

1. Absorpsi dan berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar, spesifikasi berat jenis agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20 dan absorpsi pada nilai 0,2-0,4%. Untuk beton mutu tinggi akan baik dengan absorpsi kurang dari 1%.
2. Berat volume agregat kasar, spesifikasi berat volume agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 1,6-1,9 kg/liter.
3. Kadar air agregat kasar, spesifikasi kadar air agregat kasar sesuai ASTM C-33 yaitu 0,5%-50%.
4. Kadar lumpur agregat kasar sesuai spesifikasi ASTM C-33 yaitu 0,2%-1,0%.
5. Persentase keausan agregat kasar sesuai spesifikasi ASTM C-33 adalah 15%-50%.

#### 2.1.4 Batuan Onyx

Onyx berasal dari endapan batu kapur gua batu kapur, di mana ia membentuk stalaktit, stalagmit, dan formasi lainnya yang bisa mengisi seluruh gua atau ruang hampa. Hal ini didepositkan oleh gerakan air yang lembut dan menetes diikuti oleh penguapan antara tetesan yang mengimbangi kalsium karbonat dari air ke formasi, secara bertahap memperbesar formasi dengan seperseribu inci atau kurang per tetes. Dengan demikian onyx juga merupakan batu sedimen kimiawi, dan mungkin menyelimuti fosil terestrial tetap ada. Jenazah prasejarah manusia telah ditemukan terbungkus di gua onyx. Meskipun proses

penambahan bahan drop-by-drop ini memakan waktu, endapan onyx yang besar mulai matang (mengisi gua atau fraktur) dalam waktu geologis yang relatif singkat.

*Marble Institute of America* (2016) menjelaskan, onyx terdiri dari mikrokristalin yang berupa kalsit kasar dan biasanya juga mengandung aragonit. Mikrokristal tersebut terbentuk sebagai material bertekstur serat dan lamelar. Biasanya batuan ini tersusun sebagai material yang tembus cahaya dengan berbagai warna yang tergantung pada jumlah zat oksida besi yang bervariasi, warna kuning coklat yang ada pada onyx terjadi akibat adanya oksida besi, namun ada juga yang keputih – putihan, kuning muda, orange madu, kuning, merah dan hijau gelap.

*Marble Institute* (2016), juga menjelaskan tentang sifat mekanik dari beberapa batuan onyx di dunia yaitu :

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Onyx

	Country	Absorption % by Weight	Density		Compressive Strength		Flexural Strength	
	of Origin		kg/m <sup>3</sup>	lbs/ft <sup>3</sup>	MPa	lbs/in <sup>2</sup>	MPa	lbs/in <sup>2</sup>
Akhisar Onyx <sub>(1)</sub>	Turkey	0.30%	2,700	168.6	39.2	5,690	11.4	1,650
Songwe Onyx <sub>(2)</sub>	Tanzania	0.07%	2,770	172.9				
Onice Smeraldo <sub>(3)</sub>	Iran	0.19%	2,900	181.0	53.0	7,680		
Onice Verde <sub>(3)</sub>	Pakistan	0.15%	2,548	159.1	48.1	6,970	11.4	1,650
Honey Onyx <sub>(4)</sub>	Turkey	0.50%	2,690	167.9	84.5	12,260	7.7	1,120
White Onyx <sub>(5)</sub>	Iran	0.03%	2,700	168.6	79.9	11,590		
Orange Onyx <sub>(5)</sub>	Iran	0.03%	2,720	169.8	75.9	11,010		
Light Green Onyx <sub>(5)</sub>	Iran	0.02%	2,730	170.4	105.1	15,240		
Vista Grande Onyx <sub>(4)</sub>	USA	0.11%	2,589	161.6	46.0	6,668	4.5	656
Multicolor Onyx <sub>(4)</sub>	Pakistan	0.12%	2,730	170.4	133.1	19,300	4.6	667
Rosa Grande Onyx <sub>(4)</sub>	USA	0.11%	2,589	161.6	46.0	6,668	4.5	656
Light Green Onyx <sub>(4)</sub>	Pakistan	0.01%	2,728	170.3	139.3	20,208	9.1	1,313

Sumber : *Marble Institute of America*

Onyx adalah jenis batu kuarsa yang sering disebut juga dengan marmer tembus cahaya. Umumnya berwarna putih kekuningan dan agak bening sehingga tembus pandang. Onyx terjadi pada rongga atau tekanan batu kuarsa yang berasal dari larutan kalsium karbonat baik yang terjadi pada temperature panas atau dingin, sehingga terjadi pengkristalan. Menurut Herve Nicolas Lazzarelli, (Blue Chart Gem Identification, 2010) batu onyx memiliki indeks kekerasan 6,5 – 7 mohs dengan berat jenis 2,55 hingga 2,70. Dari hasil uji laboratorium didapatkan keausan sebesar 24% (Anissa, 2016).



Onyx terbentuk dari metamorfosis batu kapur atau Dolomit. Apa yang membuat batuan ini berbeda dari batuan karbonat sedimen, adalah kristal yang lebih besar. Komponen mineral utama adalah Kalsit, yang sering disertai kuarsa, grafit, hematit, limonit, pirit dan sebagainya.

Analisis fisik batu *onyx*:

1. Penyerapan air kurang dari 1%
2. Kepadatan rata-rata  $2,7 \text{ gr / cm}^3$
3. Kekuatan tekan antara 19 - 140 MPa dan kekuatan tekan rata-rata 110 MPa
4. Kekuatan lentur 6 - 15 MPa
5. Kekuatan tarik rata-rata 4 MPa
6. Porositas relatif rendah dan bervariasi dari 0,3% - 1,2%



Gambar 2.2 Limbah Produksi Kerajinan Batu Onyx

### 2.1.5 Air

Dalam proses pembuatan beton, air digunakan sebagai pemicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Pada umumnya air minum dapat dipakai sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut sebagai Faktor Air Semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Adapun persyaratan untuk jenis air yang bisa untuk digunakan pada campuran beton sebagai berikut:

1. Air tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2gr/lit.
2. Air yang digunakan tidak mengandung garam-garam yang bisa merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya).
3. Air tidak boleh mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/lit
4. Tidak boleh mengandung senyawa-senyawa sulfat lebih dari 1 gr/lit yang bisa menurunkan kualitas pada beton.

#### 2.1.6 Mix Design

Perencanaan campuran (Mix design) bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis dan ekonomis. Penentuan proporsi campuran dapat digunakan dengan beberapa metode sebagai berikut dalam (Mulyono, 2004) :

1. Metode *American Concrete Institute* (ACI) menjelaskan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya adalah dengan memperhatikan adanya bahan-bahan di lapangan, kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan, dan baiknya kekuatan beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).
2. Metode Road Note No.4, cara perancangan ini ditekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap kemudahan pengerjaan.
3. Metode SK.SNI T-15-1990-03. Current British Method (DOE), disusun oleh British Departement of Environment pada tahun 1975 untuk menggantikan Road Note.4 di Inggris. Untuk kondisi di Indonesia telah diadakan penyesuaian pada besarnya variasi kuat tekan beton.
4. Metode desain campuran *Portland Cement Association* (PCA) dasarnya serupa dengan metode ACI sehingga secara umum hasilnya akan saling mendekati.

Penjelasan lebih detail dapat dilihat dalam Publikasi PCA, *Portland Cement Association, Design and Control of Concrete Mixtures, 12<sup>th</sup> edition.*, Skokie, Illinois, USA:PCA, 1979,140 pp.

5. Metode SNI 03-2834-2002, Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

## 2.3 Beton Bertulang

Beton kuat menahan tekan dan lemah menahan tarik, maka beton dapat mengalami retak jika beban yang dipikul melebihi batas kuat tarik beton. Sehingga diperlukan tulangan baja yang berfungsi menyediakan kuat tarik pada beton. Penambahan tulangan pada beton disebut dengan istilah beton bertulang.

Beberapa dasar kerjasama antara beton dengan baja tulangan :

- Lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran.
- Beton bersifat kedap air sehingga melindungi baja dari korosi
- Angka kecepatan muai kedua bahan hampir sama, beton sekitar 0,00001 sampai 0,000013 sedangkan baja 0,000012 per derajat Celcius ( °C).

### 2.3.1 Kekuatan Beton Bertulang

Berdasarkan SNI 03-3847-2002, pada perhitungan struktur beton bertulang, beberapa istilah kekuatan suatu penampang adalah sebagai berikut :

1. Kuat Nominal, kuat suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai. Kekuatan beton pada kondisi normal.
2. Kuat perlu, kuat suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi seperti dalam peraturan SNI 03-3847-2002
3. Kuat rencana, kuat nominal dikalikan dengan suatu factor reduksi kekuatan  $\phi$  untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi beban.

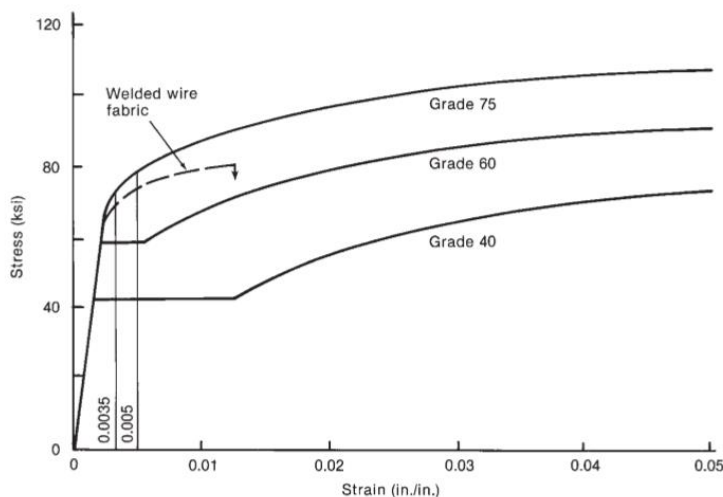


## 2.4 Tulangan

Baja tulangan untuk beton terdiri batang, kawat, dan jaringan kawat baja las yang seluruhnya dirakit sesuai standar ASTM. Sifat – sifat terpenting baja tulangan adalah sebagai berikut :

- 1) Modulus Young,  $E_s$
- 2) Kekuatan leleh,  $f_y$
- 3) Kekuatan batas,  $f_u$
- 4) Mutu baja yang ditentukan
- 5) Diameter batang atau kawat

Kurva tegangan – regangan tipikal untuk mutu baja 40 ksi, 60 ksi, dan 75 ksi. Untuk hampir semua baja, perilakunya diasumsikan elastisitas dan modulus Young diambil sebesar  $29 \times 10^9$  psi ( 204073 Mpa).

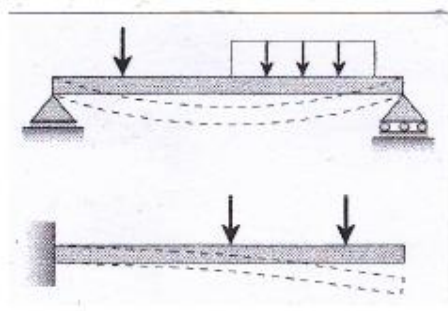


Gambar 2.3 Kurva tegangan – regangan baja

Sumber : *Reinforced Concrete Mechanics and design, 2011*

## 2.5 Balok

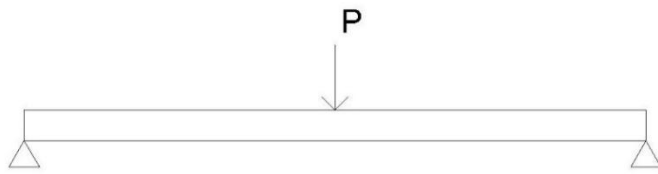
Balok (*Beam*) merupakan bagian dari struktur yang berfungsi sebagai pemikul beban transversal, suatu balok dapat dianalisa secara lengkap apabila diagram gaya geser dan diagram momennya telah diperoleh. Jika semua beban bekerja di bidang yang sama, dan jika semua defleksi (yang ditunjukkan dengan garis putus-putus) terjadi di bidang tersebut, maka bidang tersebut disebut bidang lentur.



Gambar 2.4 Lentur pada Balok

Berikut adalah jenis-jenis balok :

1. Balok Sederhana



Gambar 2.5 Balok Sederhana

Balok ditumpu oleh tumpuan sendi dan tumpuan rol. Tumpuan sendi mencegah translasi di ujung balok tetapi tidak mencegah rotasi.

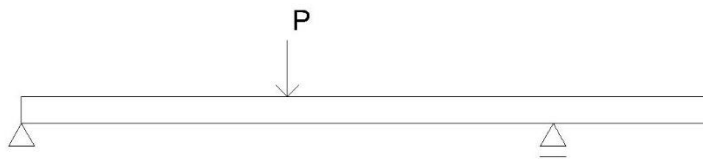
2. Balok Kantilever



Gambar 2.6 Balok Kantilever

Salah satu ujung balok dijepit sedangkan ujung lainnya bebas. Pada tumpuan jepit balok tidak dapat bertranslasi maupun berotasi, sedangkan ujung lainnya dapat bertranslasi dan berotasi.

### 3. Balok dengan *Overhang*



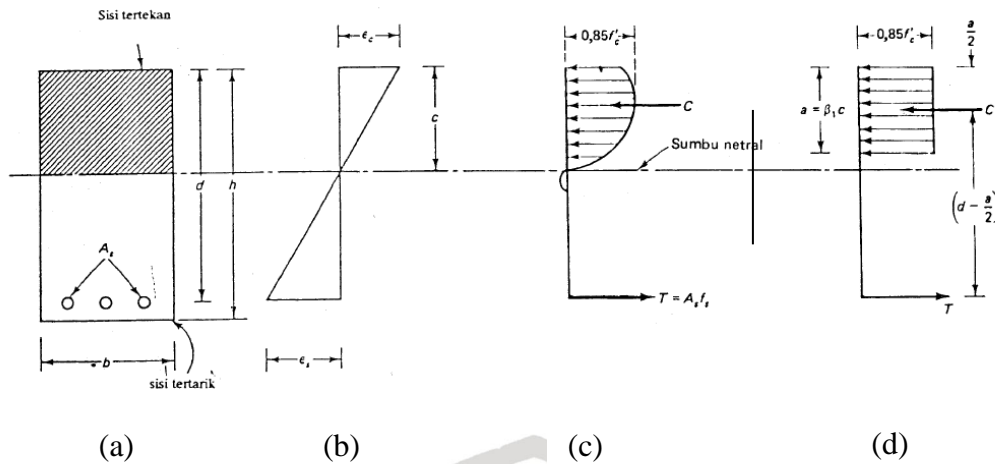
Gambar 2.7 Balok Overhang

Balok ditumpu sederhana tetapi ada bagian yang menerus di salah satu ujung balok.

## 2.6 Blok Tegangan Ekuivalen Beton

Sejarah penelitian blok tegangan ekuivalen pada beton normal adalah dimulai dari pada tahun 1899 dimana Ritter mengenalkan penemuan blok tegangan parabolik, tujuan penelitian tersebut adalah menjelaskan dan memprediksi kekuatan ultimate pada balok. Untuk mencari diagram hubungan tegangan regangan pada beton, pada investigasi terdahulu adalah dengan cara menggunakan uji tekan beban konsentris pada beton dengan bidang prismatis, mereka menemukan deformasi dan besarnya beban dari beban awal hingga maksimum sehingga didapatkan hubungan diagram tegangan regangan pada balok prismatis.

Untuk memudahkan perhitungan teori distribusi tegangan dibuat segi empat ekuivalen yang selanjutnya dimodifikasi oleh Whitney. Nilai distribusi blok tegangan tekan yang terjadi pada penampang balok beton bertulang adalah berbentuk kurva parabolik, menghitung volume blok tegangan tekan dengan bentuk parabolik sulit dalam perencanaan, dimana kurva blok tegangan tegangan tekan parabolik tersebut diganti dengan blok tegangan berbentuk segiempat ekuivalen sebagai cara untuk menghitung tegangan tekan dengan mudah dan tanpa mengurangi ketelitian perhitungan.



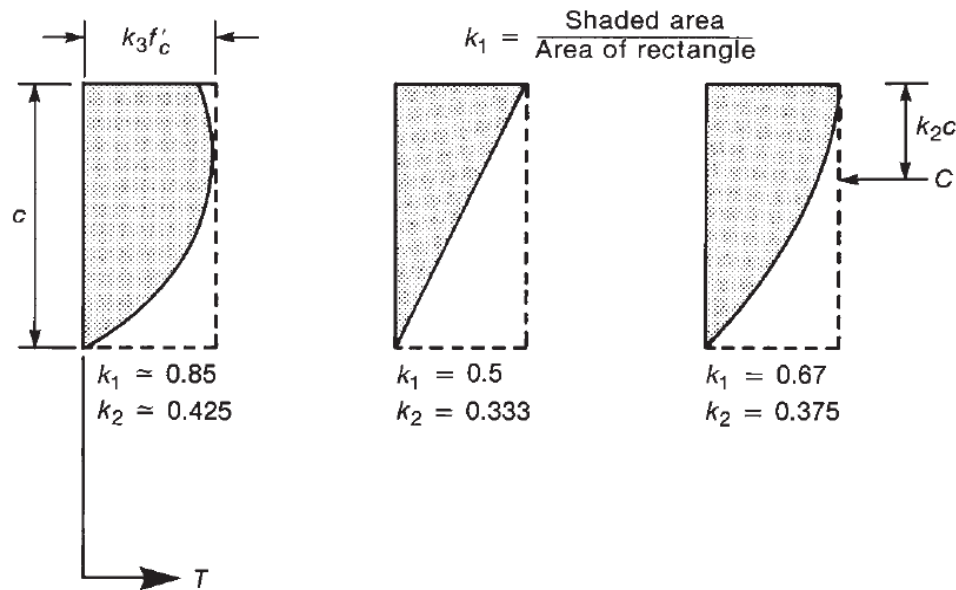
Gambar 2.8 Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok : (a) penampang melintang balok; (b) regangan ; (c) blok tegangan aktual ; (d) blok tegangan ekuivalen

Sumber : *Beton Bertulang : Suatu Pendekatan Standar, 1998*

Blok tegangan ekuivalen terdiri dari beberapa parameter sesuai dengan gambar 2.3 yaitu tinggi blok persegi adalah  $a$ , dan tegangan tekan rata – rata sebesar  $0,85 f'_c$ . Besarnya nilai  $a$  adalah tinggi blok asli parabolik  $c$  yang dikalikan dengan nilai  $\beta_1$ , sedemikian rupa sehingga luas blok segiempat ekuivalen kurang lebih sama dengan blok tegangan asli yang berbentuk parabola. Dengan cara demikian gaya tekan  $C$  pada dasarnya sama untuk kedua jenis distribusi tegangan. Nilai  $0,85 f'_c$  untuk tegangan rata – rata dari blok tegangan segiempat ekuivalen ditentukan berdasarkan hasil percobaan pada beton yang berumur lebih dari 28 hari. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, regangan maksimum yang diizinkan adalah 0,003. Nilai ini dipakai pada ACI sebagai nilai batas yang masih aman. Meskipun pada akhir – akhir ini ada usulan mengenai bentuk distribusi tegangan ekuivalen, seperti misalnya yang berbentuk trapesium, blok segiempat ekuivalen ini merupakan salah satu bentuk yang digunakan pada standar analitis dan desain beton bertulang.

Sampai saat ini telah banyak kurva tegangan regangan beton yang telah dikemukakan oleh peneliti sebelumnya, kurva tersebut berdasarkan hasil pengujian eksperimental dari spesimen ketika diberi beban tekan aksial, biasanya standar yang dilakukan adalah beton dengan bentuk silinder. Dalam menentukan perilaku struktur ketika menerima beban aksial dan lentur secara bersamaan, kata kunci yang banyak dipertanyakan adalah apakah dengan uji aksial silinder beton, sudah cukup untuk digunakan dalam melihat perilaku beton ketika menerima beban tekan dan lentur secara bersamaan.

Eksperimen yang dilakukan oleh Ibrahim dan Mac Gregor (1999), menjelaskan jika terdapat kesamaan antara garis kurva menanjak dari kurva tegangan regangan untuk kolom beton dengan penampang persegi panjang yang diberi beban tekan yang tidak eksentris dan silinder yang diuji dengan beban aksial saja. Hal ini menjelaskan jika kurva yang didapatkan dari uji silinder dapat dipakai untuk semua penampang yang terkena beban aksial dan lentur secara bersamaan.



Gambar 2.9 Detail Parameter Blok Tegangan Ekvivalen

$k_3$  = Rasio tegangan maksimum pada balok dan kuat tekan beton silinder ( $f'_c$ )

$k_2$  = Rasio jarak antara serat tekan maksimum dan resultan kuat tekan ke garis netral

$k_1$  = Rasio antara luasan kurva dan juga persegi (gambar 2.4)

Sumber : *Reinforced Concrete Mechanics and design, 2011*

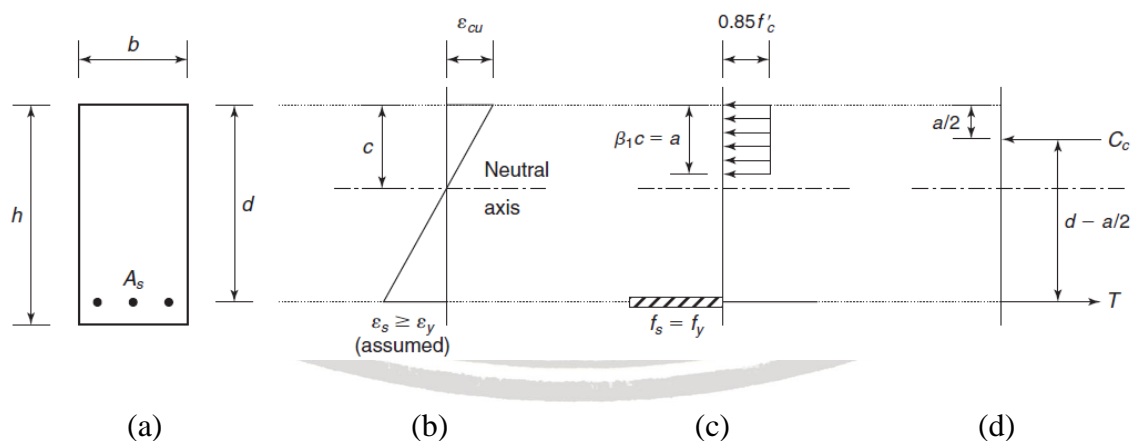
## 2.7 Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

Balok adalah elemen struktur yang menerima beban luar dan beban akibat berat sendiri terutama akibat gaya dalam dan momen. (Nawy, 2008) menjelaskan, beban-beban yang bekerja pada struktur, baik yang berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban-beban lain, seperti beban angin (dapat berarah horizontal), atau juga beban karena susut dan beban karena perubahan temperatur, menyebabkan adanya lentur dan deformasi pada elemen struktur. Tegangan lentur yang diakibatkan momen lentur luar hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang.



Parameter yang digunakan dalam mencari kekuatan nominal penampang persegi yang diberi tulangan tarik saja adalah lebar penampang ( $b$ ), tinggi efektif balok ( $d$ ) dan luas tulangan tarik ( $A_s$ ). Nilai luas tulangan ( $A_s$ ) dihasilkan melalui gabungan luas dari tulangan yang digunakan, selimut beton ( $d'$ ) berfungsi sebagai pelindung tulangan terhadap kebakaran dan pelindung tulangan terhadap efek luar. Kekuatan tarik pada beton umumnya adalah diabaikan, karena biasanya hanya 10 persen dari kekuatan tekannya. Dengan demikian tinggi penampang yang menentukan didalam perhitungan kekuatan adalah tinggi efektif ( $d$ ) ketimbang tinggi total penampang ( $h$ ) karena selimut beton yang kekuatan tariknya diabaikan. Tinggi efektif merupakan jarak dari serat tekan yang paling luar terhadap titik berat tulangan tarik. Jika tulangan tarik merupakan gabungan dari beberapa lapis tulangan yang memenuhi persyaratan jarak minimum antara lapis, maka titik berat dari tulangan gabunganlah yang umumnya dipakai.

Analisa pemeriksaan dari suatu penampang persegi terhadap kekuatan lentur dimaksudkan untuk menentukan apakah penampang memiliki kekuatan yang cukup atau tidak dalam memikul beban kerja atau momen kerja. Penampang juga harus memenuhi kriteria kelayakan atau *serviceability*, yaitu harus memiliki kekuatan yang baik agar dapat menahan beban kerja yang tanpa menimbulkan efek – efek yang merugikan, atau dengan kata lain dapat menahan beban tanpa menimbulkan lendutan yang berlebihan, tanpa menimbulkan adanya retakan dan menimbulkan getaran yang terlalu keras.



Gambar 2.10 (a) Potongan Melintang Balok Beton Bertulangan Tunggal, (b) Distribusi Regangan, (c) Distribusi Tegangan, (d) Gaya Dalam

Sumber : Reinforced Concrete Mechanics and design, 2011



Untuk mendapatkan momen nominal yang dapat ditahan oleh balok dapat dilihat dari rumus balok beton bertulang sebagai berikut :

$$a = \beta_1 \times c \quad (2.4)$$

$$Z = (d - a/2) \quad (2.5)$$

$$C_c = (0.85) \times f'_c \times b \times \beta_1 \times c \quad (2.6)$$

$$T = A_s \times f_y \quad (2.7)$$

Pada kondisi *balance* didapatkan :

$$T = C_c \quad (2.8)$$

Besar momen nominal balok bertulang :

$$M_n = C_c \times Z \quad (2.9)$$

$$M_n = C_c (d - a/2) \quad (2.10)$$

Keterangan :

$C_c$  = Tekan Beton       $A_s$  = Luas Tulangan Tarik       $b$  = Lebar Balok

$T$  = Tarik Baja       $a$  = Tinggi Blok Tegangan       $d$  = Tinggi Efektif Balok

$\varepsilon_s$  = Regangan Baja       $\varepsilon_y$  = Regangan Leleh Baja

## 2.8 Hasil Penelitian Sebelumnya

Berikut ini adalah hasil penelitian yang berkaitan yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya :

1. Jurnal berjudul "*Concrete with onyx waste aggregate as aesthetically valued structural concrete*" yang ditulis oleh Edhi Wahyuni Setyowati dari Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian agregat kasar beton dengan limbah batu onyx :
  - Kekuatan yang dihasilkan memenuhi syarat beton struktural.
  - Tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada struktur mikro beton agregat limbah batu onyx.

2. Jurnal berjudul “*Recyclability of waste marble in concrete production*” yang ditulis oleh Hasan Sahan Arel dari faculty of architecture, Izmir university, Gursel Aksel Bulvan, Turkey. Pada penelitian ini menjelaskan penggantian semen dengan limbah marmer dan menggunakan limbah marmer juga sebagai agregat halus. Hasil yang didapatkan adalah jumlah serbuk marmer yang digunakan sebagai agregat halus membuat workability dari beton menurun, namun bubuk ini berkontribusi pada kekuatan beton karena serbuk marmer mengandung  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{SiO}_2$  sehingga membuat kuat tekan meningkat. Sementara potongan marmer yang digunakan sebagai agregat kasar membuat workability dan sifat mekanik beton meningkat. Hasil penelitian secara detail adalah sebagai berikut:
  - Penggantian semen dengan kadar 5 – 10% debu marmer dapat meningkatkan sifat mekanik beton, dan mengurangi emisi gas  $\text{CO}_2$  sebesar 12%.
  - Pada penggantian terhadap agregat kasar dapat membuat rasio air semen menurun, hal ini membuat kuat tekan beton baik.
  - Pada agregat halus pada penggantian agregat halus ke marmer pada rasio 50% dan 75% membuat kuat tekan naik antara 20-26% dan kuat tariknya naik antara 10-15%.
3. Jurnal berjudul “*Use of waste marble aggregate in concrete*” yang ditulis oleh H. Hebhou, H. Aoun, M. Belachia, H. Houari, E. Ghorbel dari faculty of architecture, Material and geotechnical laboratory, Univesity of Skikda, Algeria. Pada penelitian ini bertujuan menunjukkan kemungkinan penggunaan limbah marmer sebagai pengganti dari agregat alami dalam produksi beton. Pada penelitian ini dilakukan dengan 3 cara: yaitu marmer sebagai substitusi agregat kasar, marmer sebagai substitusi agregat kasar dan marmer sebagai substitusi agregat kasar dan halus dengan rasio penggantian adalah sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Hasil penelitian secara detail adalah sebagai berikut :
  - Jika dilihat dari 3 aspek substitusi material yang ada didapatkan hasil kuat tekan a. pada substitusi agregat halus terdapat marmer mendapatkan kuat tekan maksimum pada kadar penggantian 50% adalah sebesar 23,65 MPa. b. Pada substitusi agregat dengan penggantian agregat kasar terhadap marmer mendapatkan kuat tekan maksimum pada kadar 75% adalah sebesar 25,08 MPa. c. Pada substitusi agregat halus dan agregat kasar terhadap marmer akan menghasilkan kkuat tekan maksimum pada kadar 25% yaitu sebesar 22,2 MPa.
4. Jurnal berjudul “Pengaruh penggunaan limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton terhadap kuat lentur beton” yang ditulis oleh Beta Taufiq Raya dari Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Pada penelitian ini menjelaskan onyx yang

digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada beton, dimana FAS yang digunakan dibuat berbeda yaitu 0,4 ; 0,5 ; dan 0,6 dari penelitian ini didapatkan penjelasan jika penggantian agregat kasar dengan onyx membuat kuat lentur beton meningkat 4,84% pada FAS 0,4 pada beton yang berumur 28 hari dibandingkan dengan beton dengan agregat normal.

5. Dewi Susilowati (2013). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Terak Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Lentur Dan Berat Jenis Beton Normal Dengan Metode Mix Design didapatkan pengaruh penggantian terak sebagai pengganti agregat kasar akan mengakibatkan penurunan kuat lentur beton.
6. Aulia Nurul Annisa (2016). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tarik Belah Beton didapatkan Perbandingan kuat tarik belah beton dengan campuran limbah batu *Onyx* dibandingkan dengan beton normal pada masing-masing fas berbeda persentasenya yaitu sebesar lebih kecil 17,48% pada FAS 0.4, lebih kecil 7,28% pada FAS 0.5 dan lebih besar 9,09% pada FAS 0.6.
7. Dhita Rizki Rahmawati P (2016). Meneliti tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Batu *Onyx* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton didapatkan nilai rata-rata kuat tekan tertinggi pada faktor air semen 0,4. Perbandingan selisih kuat tekan beton normal dengan beton limbah batu onyx pada nilai faktor air semen 0,4 adalah 12,431%.

## 2.5 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan yang terdapat dalam penelitian sebelumnya maka penulis dapat mengambil hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan kuat tekan beton agregat limbah batu onyx dengan beton agregat normal.
2. Terdapat perbedaan kuat lentur balok bertulang agregat limbah batu onyx dengan kuat lentur balok bertulang agregat normal.
3. Perbedaan kuat lentur balok bertulang agregat limbah batu onyx dengan kuat lentur balok bertulang agregat normal tidak signifikan.
4. Limbah batu onyx dapat digunakan sebagai agregat beton struktural.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*



### BAB III

#### METODE PENELITIAN

##### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Universitas Brawijaya, Bahan Bangunan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober tahun 2017.

##### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

1. Pada penelitian ini digunakan alat sebagai berikut :
  - a. Satu set ayakan agregat kasar dan halus untuk analisa agregat.
  - b. Cetakan silinder beton untuk pengujian kuat tekan.
  - c. Timbangan kecil dan timbangan kapasitas besar.
  - d. Alat uji kuat tekan.
  - e. Satu set alat uji slump beton segar.
  - f. Alat bantu proses pengecoran (ember, sendok semen, palu karet)
  - g. Cetakan bekisting balok bertulang
  - h. *Concrete mixer* ( Alat pencampur bahan beton).
  - i. *Loading Frame* untuk pengujian kuat lentur balok.
  - j. *Hydraulic Jack* yang berfungsi untuk memberikan beban bertahap
  - k. *LVDT* atau alat pembaca perpindahan yang terjadi
  - l. Mesin penggetar beton (*vibrator concrete*)
2. Pada penelitian ini digunakan bahan sebagai berikut :
  - a. Semen PPC
  - b. Agregat kasar batu pecah
  - c. Agregat kasar Onyx, berasal dari Kec. Campurdarat, Tulungagung
  - d. Agregat halus pasir lumajang
  - e. Air PDAM Kota Malang



### 3.3 Analisis Bahan

#### 1. Semen

Pada pengamatan semen tidak dilaksanakan pengujian yang detail, hanya ada pengamatan secara visual kondisi semen yang baik.

#### 2. Air

Air yang digunakan adalah air PDAM yang sudah dikenal sesuai dengan standar yang telah ditetapkan oleh peraturan.

#### 3. Agregat Halus

Agregat yang ada dipilih ukurannya sesuai dengan analisa saringan yang telah ditetapkan, untuk kondisinya dibuat sesuai dengan kondisi di lapangan agar didapatkan penelitian yang sesuai.

#### 4. Agregat Kasar

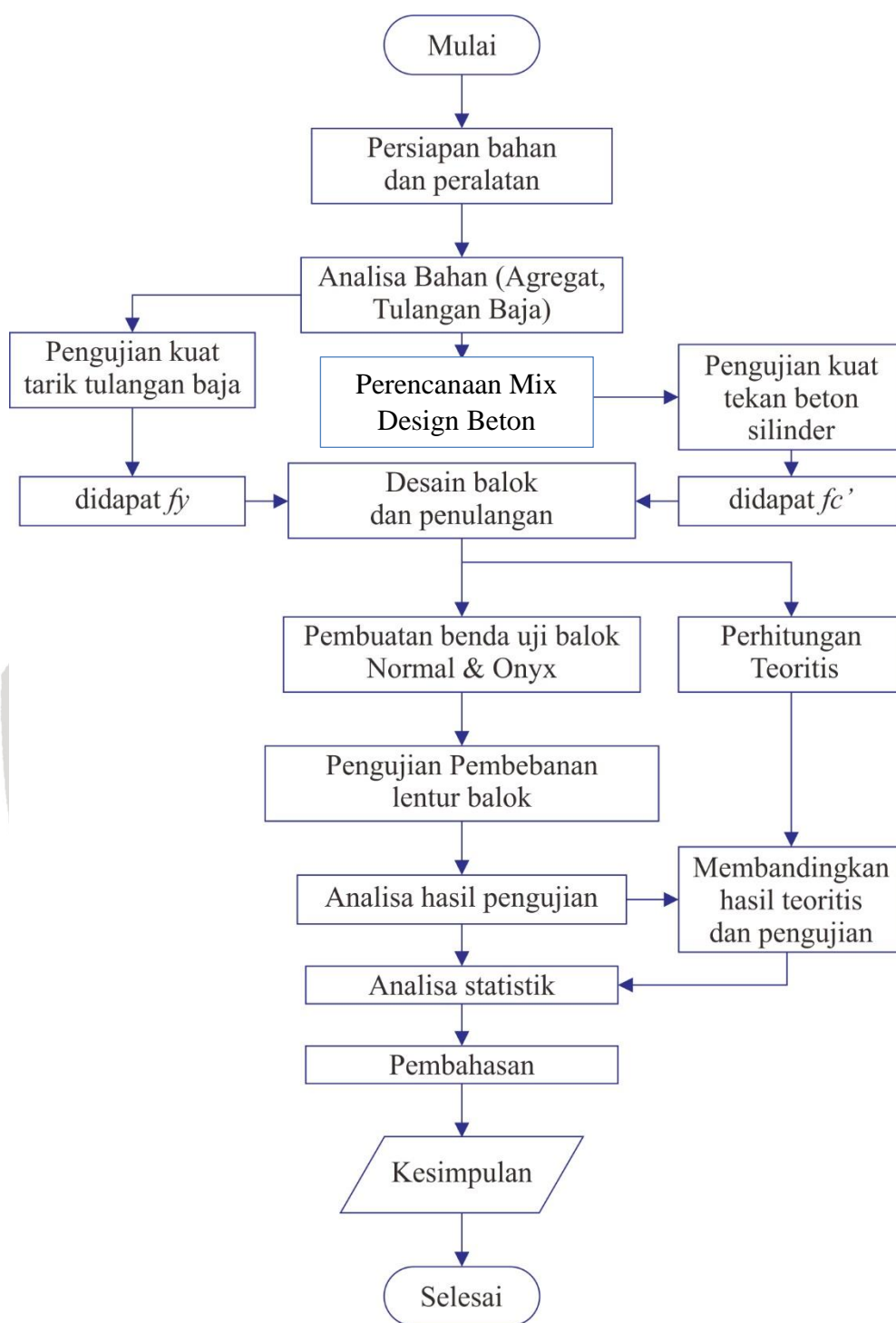
Kerikil yang ada dipilih ukurannya sesuai dengan analisa saringan yang telah ditetapkan. Sedangkan untuk limbah batu onyx ukuran dan gradasi disesuaikan dengan kerikil agar didapatkan kondisi yang sama.

#### 5. Baja

Baja yang digunakan adalah baja standar yang sesuai dengan yang ditetapkan pada peraturan SNI 07-2052-2002.



### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.5 Rancangan Penelitian

#### 1. Pengujian Kuat Tekan pada Beton

Pada pengujian kuat tekan beton digunakan 30 buah benda uji dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji Beton

No	Nama Benda Uji	Jumlah Benda Uji
		Kuat Tekan
1	Beton Normal	15
2	Beton Onyx	15

#### 2. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian ini dilaksanakan ketika pengujian tekan beton, dimana setting alat kuat tekan yang telah diberi *LVDT* atau alat pembaca perpendekkan dibaca untuk nantinya digunakan untuk mendapatkan nilai regangan yang terjadi, sesuai ketika beton diuji tekan, dan hasil yang didapatkan adalah sesuai dengan jumlah spesimen uji tekan yang telah dijelaskan sebelumnya yaitu 10 buah untuk masing – masing beton normal dan beton onyx.

#### 3. Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji balok dengan ukuran 15 cm x 25 cm x 200 cm yang digunakan adalah 10 untuk masing – masing beton agregat normal dan beton agregat onyx dengan cara pembebanan yang digunakan adalah *four point loading*, dan dilakukan hingga balok mengalami kehancuran dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.2 Jumlah Benda Uji Balok

No	Nama Balok Uji	Jumlah Benda Uji
1	Balok Onyx	10 Buah
2	Balok Normal	10 Buah

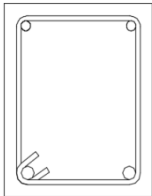
Tabel 3.3 Volume Benda Uji

No	Nama Pengujian	Jenis Benda Uji	Volume ( $dm^3$ )	Jumlah Benda Uji	Total Volume
			1 Benda Uji	Buah	$dm^3$
1	Kuat Tekan Normal	Silinder	5,30357	15	79,6
2	Kuat Tekan Onyx	Silinder	5,30357	15	79,6
3	Lentur Rc Balok Normal	Balok (15x25x200)	75	10	750
4	Lentur Rc Balok Onyx	Balok (15x25x200)	75	10	750

Tabel 3.4 Kebutuhan Material Benda Uji

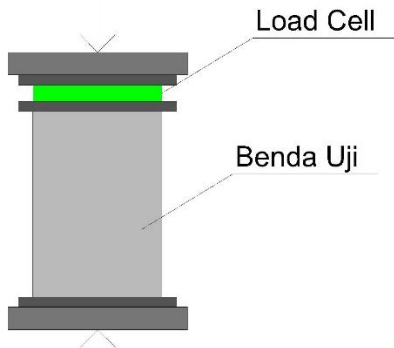
No	Nama Pengujian	Jenis Benda Uji	Kebutuhan Material Beton (Kg)				
			945.3	945.3	617.2	562.5	225.0
			Onyx	Ag. Kasar	Ag. Halus	Semen	Air
1	Kuat Tekan Normal	Silinder		75.2	49.1	44.75	17.9
2	Kuat Tekan Onyx	Silinder	75.2		49.1	44.75	17.9
3	Lentur Rc Balok Normal	Balok (15x25x200)		708.98	462.9	421.88	168.8
4	Lentur Rc Balok Onyx	Balok (15x25x200)	708.98		462.9	421.88	168.8

Tabel 3.5 Detail Penulangan Balok

No	Gambar Penampang	Dimensi (m') l x t x p	Tulangan Utama	Tulangan Geser
			Bawah	
1		0,15 x 0,25 x 2	2 $\phi$ 12	$\Phi$ 8 - 150

### 3.6 Persiapan Benda Uji

#### 3.6.1 Pengujian Kuat Tekan



Gambar 3.2 Setting Pengujian Kuat Tekan

Langkah - langkah pengujian kuat tekan dan pembacaan regangan beton adalah sebagai berikut :

1. Pengujian ini dilakukan setelah beton berumur 28 hari.
2. Siapkan benda uji yang telah melewati masa curing dan memenuhi umur.
3. Meratakan permukaan silinder dengan menggunakan capping.
4. Membuat form pengisian data kuat tekan.
5. Mengeset alat *compressometer* pada posisi angka bacaan nol terlebih dahulu, dan kemudian meletakkan benda uji ke bawah *load cell* atau tempat uji tekan.
6. Melakukan pengujian, dengan memberikan beban yang menaik dengan kecepatan konstan.
7. Dengan pengujian ini didapatkan nilai tegangan dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan (kN/cm<sup>2</sup>)

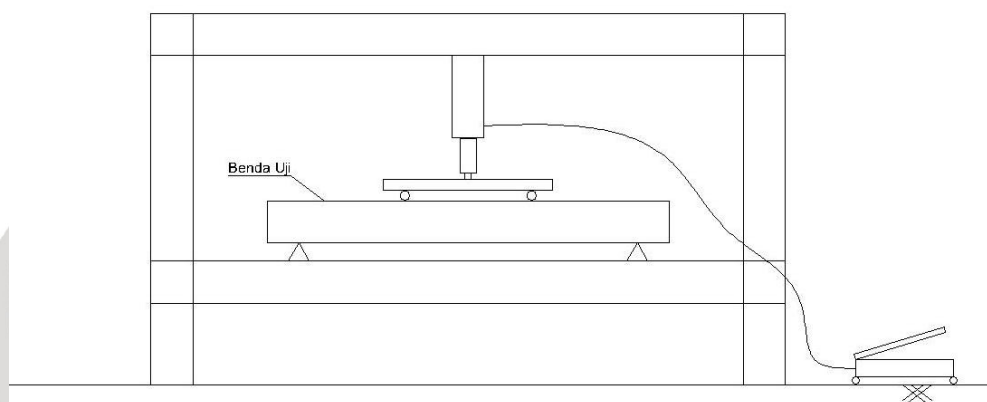
P = Beban (kN)

A = Luas permukaan silinder (cm<sup>2</sup>)

### 3.6.2 Pengujian Kuat Lentur Balok

Langkah – langkah pengujian kuat lentur balok adalah sebagai berikut :

1. Pengujian ini dilakukan setelah beton berumur 28 hari.
2. Menyiapkan spesimen benda uji yang telah melewati masa curing dan umur yang telah ditetapkan.
3. Menyiapkan benda uji 4 *point loading*, dengan setting pengujian pada *loading frame* sesuai dengan gambar dibawah.
4. Melaksanakan pengujian dengan memberi beban kelipatan 100 kg hingga melampaui beban *ultimate*.



Gambar 3.3 Setting Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang

### 3.7 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas dengan kata lain dapat diartikan variabel yang mempengaruhi atau menyebabkan, dengan kata lain merupakan faktor – faktor yang diukur dan dibuat beda oleh peneliti dalam melihat suatu perilaku yang sedang diteliti. Pada penelitian ini variabel bebas yang dilakukan adalah agregat kasar yang digunakan, dimana terdapat dua jenis yaitu agregat kasar onyx dan agregat kasar batu pecah sungai.
2. Variabel terikat dengan kata lain dapat diartikan sebagai variabel tergantung, artinya merupakan hal – hal yang diamati oleh peneliti dalam menentukan besarnya pengaruh dari variabel bebas. Pada penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah kuat lentur, kuat tekan, dan modulus elastisitas.

Tabel 3.6 Variabel Penelitian

No	Jenis Variabel	Keterangan
1.	Variabel bebas	1. Jenis Agregat
2.	Variabel terikat	1. Kuat Tekan Beton 2. Kuat Lentur Beton Bertulang

### 3.8 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini pengumpulan data dimulai dari analisa bahan yang digunakan, mulai dari agregat kasar dan agregat halus. Setelah benda uji baik itu silinder dan balok telah selesai disiapkan dengan kuat mutu rencana 30 MPa dan telah melewati masa curing 28 hari data awal yang diambil adalah uji tekan beton yang didalamnya juga didapatkan regangannya, sehingga didapatkan data awal kurva tegangan regangan pada beton normal dan beton onyx, setelah itu dilaksanakan penelitian kuat lentur balok yang diuji pada *loading frame*. Pada pengujian balok beton bertulang tersebut didapatkan data kuat lentur sesuai dengan beban yang diberikan pada benda uji.

### 3.9 Analisis Data

Analisis independent T digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan terhadap kuat lentur balok beton bertulang agregat limbah batu onyx dengan balok beton bertulang agregat kerikil.

Analisis yang diperlukan sebelum dimulainya uji antara lain :

1. Menentukan nilai rata-rata.
2. Menentukan standar deviasi.
3. Rumus umum Uji T Sampel Bebas.

Prosedur Uji Independent Sample T-Test :

1. Nyatakan hipotesis nol dan hipotesis alternatif.
2. Tentukan nilai signifikansi,  $\alpha$ .
3. Tentukan nilai kritis, untuk uji dua arah, nilai kritisnya adalah  $t_{\alpha}/2$
4. Hitung nilai statistik uji dari sampel.



$$T = \frac{(\overline{X}_1 - \overline{X}_2) - D_0}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3.3)$$

5. Jika nilai dari uji statistik jatuh pada daerah penolakan, maka tolak  $H_0$ ; selainnya, tidak tolak  $H_0$ .
6. Nyatakan kesimpulan.

Dengan asumsi:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \dots$

Keterangan:

$H_0$  = Hipotesis awal mengatakan bahwa tidak terdapat perbedaan antara kuat lentur balok beton bertulang agregat limbah batu onyx dengan kuat lentur balok beton bertulang normal.

$H_1$  = Hipotesis awal mengatakan bahwa terdapat perbedaan antara kuat lentur balok beton bertulang agregat limbah batu onyx dengan kuat lentur balok beton bertulang normal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian bahan – bahan pembuatan beton

##### 4.1.1 Semen

Semen yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah PPC (*Portland Pozzoland Cement*) jenis IP-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik yang umum digunakan. Pengujian tidak dilakukan namun semen PPC telah memenuhi standar sesuai dengan SNI 15 – 0302 – 2004, serta telah memenuhi syarat pengujian kimia dan fisika sesuai dengan SNI 15 – 2049 – 2004.

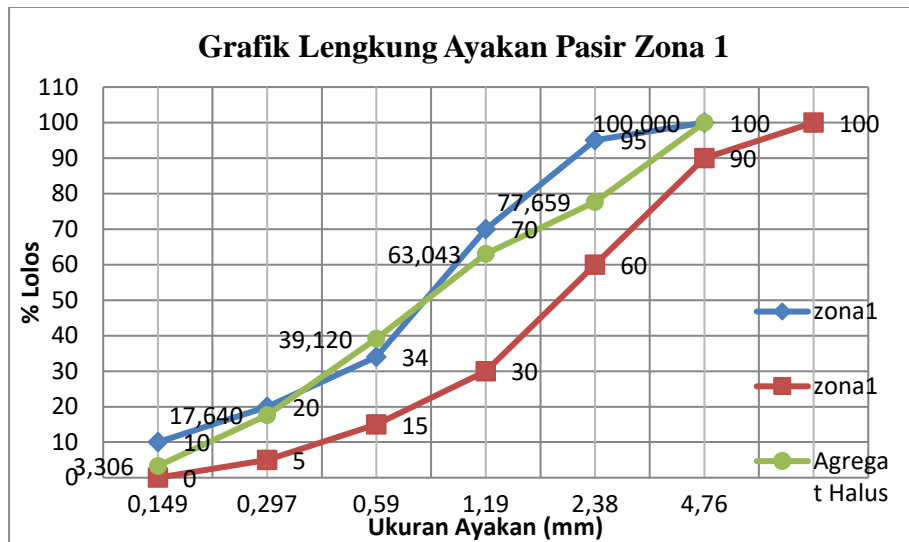
##### 4.1.2 Air

Air untuk campuran pembuatan beton yaitu air PDAM kota Malang yang sudah dikenal sesuai standar yang sudah ditetapkan peraturan yaitu :

1. kadar keasaman 6.0 sampai 8.0
2. rasanya tidak payau;
3. air bersih, tidak mengandung minyak, asam, serta bahan yang dapat merusak tulangan.

### 4.1.3 Agregat Halus

#### 4.1.3.1 Pengujian Gradasi Agregat Halus



Gambar 4.1 Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat halus

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir Lumajang, Hasil uji pemeriksaan gradasi agregat halus seperti pada gambar 4.1 menunjukkan pasir Lumajang ini termasuk dalam Zona 1 dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 3,066% yang memenuhi syarat modulus halus butir sesuai ASTM C-33 yaitu 2,20% – 3,10%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian pada agregat halus ini sehingga lumpur yang melekat pada agregat halus menjadi hilang.

#### 4.1.3.2 Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus

Tabel 4.1 Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat Halus

Kadar air rata - rata	0,05	%
Berat isi rata - rata	1,41772	gr/cc

Pemeriksaan kadar air berfungsi untuk mengetahui besarnya kandungan air, pasir dan kerikil untuk pembuatan mix design sehingga diperoleh komposisi ideal. Berat isi agregat kasar adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. Data yang didapatkan dari pengujian agregat halus yakni diperlihatkan pada tabel 4.1 untuk pemeriksaan kadar air dan berat isi.

#### 4.1.3.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tabel 4.2 *Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*

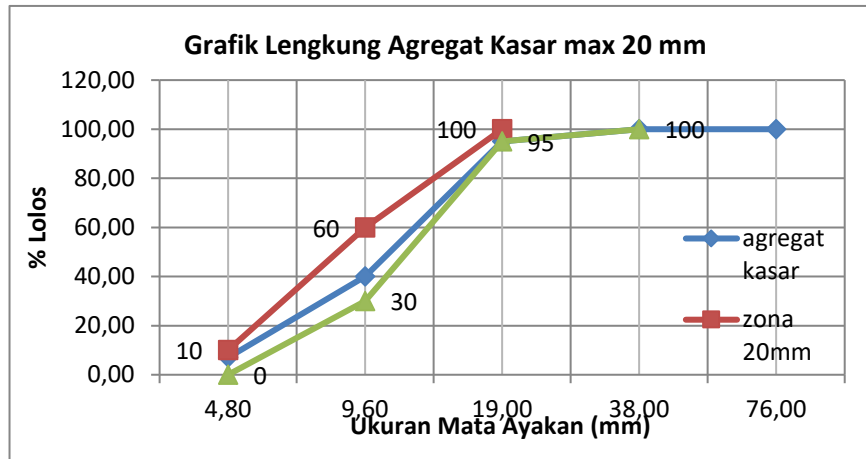
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	2,5068
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	2,5201
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	2,5407
Penyerapan (%) (Absorption)	0,5258

Berat jenis yaitu adalah perbandingan berat pasir dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan pasir. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, dan persentase penyerapan. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapatkan hasil sesuai pada tabel 4.2.

Dari tabel 4.2 didapatkan hasil berat jenis kering permukaan jenuh yaitu sebesar 2,5201 sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20. Dan penyerapan air sebesar 0,5258% memenuhi syarat yaitu 0,2%-2,0%.

#### 4.1.4 Agregat Kasar Kerikil

##### 4.1.4.1 Pengujian Gradasi Agregat Kerikil



Gambar 4.2 Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat kasar normal

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian untuk pembuatan balok beton bertulang normal merupakan batu pecah dari kota Malang. Hasil uji pemeriksaan gradasi agregat kasar menunjukkan gradasi agregat maksimum 20 mm seperti yang akan ditunjukkan pada gambar 4.2 dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 6,58% memenuhi syarat sesuai pada ASTM C-33 yaitu 5,5%-8,5%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian pada agregat kerikil ini sehingga lumpur yang melekat pada agregat kasar menjadi hilang.

##### 4.1.4.2 Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kerikil

Tabel 4.3 Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat Kerikil

Kadar Air rata-rata	0,00548	%
Berat isi agregat kasar rata-rata	1,52	gr/cc

Pemeriksaan kadar air berfungsi untuk mengetahui besarnya kandungan air, pasir dan kerikil untuk pembuatan mix design sehingga diperoleh komposisi ideal. Berat isi agregat halus adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. Data yang didapatkan dari pengujian agregat kasar batu pecah yakni diperlihatkan pada tabel 4.3 untuk pemeriksaan kadar air dan berat isi.



#### 4.1.4.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kerikil

Tabel 4.4 *Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kerikil*

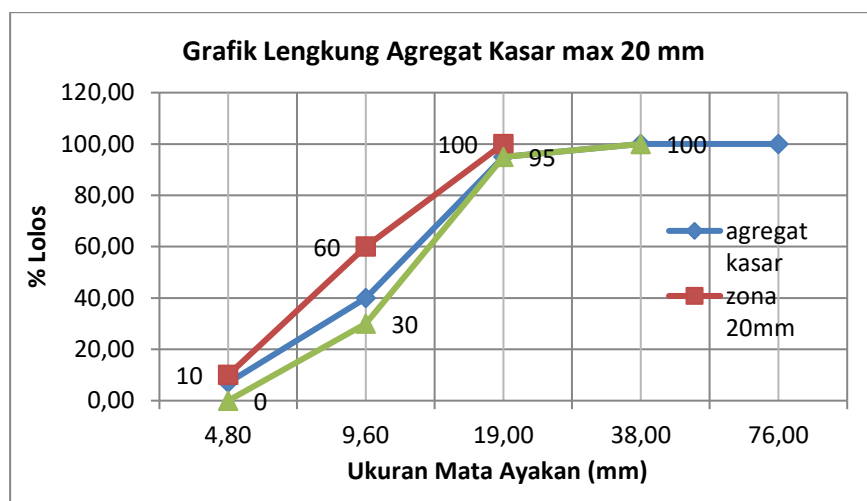
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	2,702
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	2,727
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	2,772
Penyerapan (%) (Absorption)	0,933

Berat jenis yaitu adalah perbandingan berat agregat kasar normal dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan kerikil. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, dan persentase penyerapan. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapatkan hasil sesuai pada tabel 4.4.

Dari tabel 4.4 didapatkan hasil berat jenis kering permukaan jenuh agregat kasar normal yaitu sebesar 2,727 sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20. Dan penyerapan air sebesar 0,933% memenuhi syarat yaitu kurang dari 1%.

#### 4.1.5 Agregat Kasar *Onyx*

##### 4.1.5.1 Pengujian Gradasi Agregat *Onyx*



Gambar 4.3 Grafik analisis pemeriksaan gradasi agregat kasar *Onyx*

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian untuk pembuatan balok beton bertulang *Onyx* merupakan limbah pecahan batu *Onyx* berasal dari Campurdarat, Tulungagung. Hasil uji pemeriksaan gradasi agregat kasar limbah *Onyx* menunjukkan gradasi agregat maksimum 20 mm seperti yang akan ditunjukkan pada gambar 4.3 dan memiliki nilai modulus kehalusan sebesar 8,58% dimana modulus halusnya lebih 0,08% dari yang disyaratkan pada ASTM C-33 yaitu 5,5%-8,5%. Dan kadar lumpur 0% karena telah dilakukan pencucian pada agregat kasar *Onyx* ini sehingga lumpr yang melekat pada agregat kasar menjadi hilang.

##### 4.1.5.2 Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Agregat *Onyx*

Tabel 4.5 Pemeriksaan Kadar Air dan Berat Isi Agregat *Onyx*

Kadar Air rata-rata	0,0091	%
Berat isi agregat kasar rata-rata	1,45	gr/cc

Pemeriksaan kadar air berfungsi untuk mengetahui besarnya kandungan air, pasir dan kerikil untuk pembuatan mix design sehingga diperoleh komposisi ideal. Berat isi agregat kasar adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan volume air. Data yang didapatkan dari pengujian agregat kasar batu pecah yakni diperlihatkan pada tabel 4.5 untuk pemeriksaan kadar air dan berat isi.

#### 4.1.5.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat *Onyx*

Tabel 4.6 *Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Onyx*

Berat Jenis Curah	
(Bulk Spesific Grafity)	2,598
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	
(Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	2,607
Berat Jenis Semu	
Apparent Spesific Gravity)	2,622
Penyerapan (%)	
(Absorption)	0,341

Berat jenis yaitu adalah perbandingan berat agregat kasar *onyx* dengan berat air suling yang mempunyai volume sama dengan agregat kasar *onyx*. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis SSD, berat jenis semu, dan persentase penyerapan. Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan didapatkan hasil sesuai pada tabel 4.6.

Dari tabel 4.6 didapatkan hasil berat jenis kering permukaan jenuh agregat kasar normal yaitu sebesar 2,607 sesuai dengan syarat ASTM C-33 yaitu 1,60-3,20. Dan penyerapan air sebesar 0,341% memenuhi syarat yaitu kurang dari 1%.

## 4.2 Mix Desain

Perencanaan campuran (Mix design) bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis pengujian.

Tabel 4.7 *Perhitungan Mix desain*

URAIAN	AGREGAT ONYX		AGREGAT KERIKIL	
Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	20	Mpa	20	Mpa
Deviasi standar	-		-	
Nilai Tambah (Margin)	12	Mpa	12	Mpa
Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	32	Mpa	32	Mpa
Jenis Semen	PPC		PPC	
Jenis Agregat Kasar	Batu Onyx		Batu pecah	
Jenis Agregat Halus	Pasir Lumajang		Pasir Lumajang	
Faktor Air semen Bebas	0.4		0.4	
Faktor air semen Maksimum	0.6		0.6	
Slump	60 - 180 mm		60 - 180 mm	
Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	20	mm
Kadar Air Bebas	205	kg/m <sup>3</sup>	205	kg/m <sup>3</sup>
Jumlah semen	512.5	kg/m <sup>3</sup>	512.5	kg/m <sup>3</sup>
Jumlah Semen Maksimum	-		-	
Jumlah Semen Minimum	275	kg/m <sup>3</sup>	275	kg/m <sup>3</sup>
FAS yg disesuaikan	-		-	
Susunan besar butir agregat halus	Zona 1		Zona 1	
Persen agregat halus	0.44		0.44	
Berat jenis relatif agregat (SSD)	2.569	kg/m <sup>3</sup>	2.636	kg/m <sup>3</sup>
Berat isi beton	2310	kg/m <sup>3</sup>	2360	kg/m <sup>3</sup>
Kadar agregat gabungan	1592.5	kg/m <sup>3</sup>	1642.5	kg/m <sup>3</sup>
Kadar agregat halus	700.7	kg/m <sup>3</sup>	722.7	kg/m <sup>3</sup>
Kadar agregat kasar	891.8	kg/m <sup>3</sup>	919.8	kg/m <sup>3</sup>

## 4.3 Campuran Beton

Tabel 4.8 *Campuran beton normal*

Banyaknya Bahan	Semen ( kg )	Air ( kg/lt )	Pasir ( kg )	Kerikil ( kg )
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5kg (Teoritis)	512.50	205.00	722.70	919.80
Tiap campuran uji 0,1 m <sup>3</sup>	51.25	20.50	72.27	91.98
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5kg (Aktual)	512.50	216.52	719.26	911.72
Tiap campuran uji 0,1 m <sup>3</sup>	51.25	21.65	71.93	91.17

Tabel 4.9 *Campuran beton onyx*

Banyaknya Bahan	Semen ( kg )	Air ( kg/lt )	Pasir ( kg )	Onyx ( kg )
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	512.50	205.00	700.70	891.80
Tiap campuran uji 0,1 m3	51.25	20.50	70.07	89.18
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	512.50	211.29	697.37	888.84
Tiap campuran uji 0,1 m3	51.25	21.13	69.74	88.88

Campuran beton normal yang digunakan pada penelitian ini dengan perbandingan semen : air : pasir : kerikil adalah 1 : 0,42 : 1,4 : 1,78 dengan faktor air semen (FAS) 0,4. Sedangkan untuk pembuatn beton agregat batu *onyx* menggunakan perbandingan semen : air : pasir : agregat batu *onyx* adalah 1 : 0,41 : 1,36 : 1,73 dengan faktor air semen (FAS) 0,4. Dasar penentuan campuran sesuai dengan mix desain diatas.

#### 4.4 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slum. Pengujian slump menggunakan kerucut abrams yang bertujuan untuk mengetahui kelecakan serta kemudahan dalam pengerjaan campuran beton (*workability*). Hasil dari pengujian slum beton normal dan *onyx* sebagai berikut :

Tabel 4.10 *Tabel Pengujian Slum Beton Normal dan Onyx*

No	Beton Normal	Slump (cm)	Rata - rata (cm)	Beton Onyx	Slump (cm)	Rata - rata (cm)
1	RC-N1	16		RC-O1	15.6	
2	RC-N2	20		RC-O2	15	
3	RC-N3	18.3		RC-O3	16	
4	RC-N4	15		RC-O4	14.5	
5	RC-N5	15		RC-O5	16	
6	RC-N6	13.5	15.83	RC-O6	15	15.39
7	RC-N7	15.5		RC-O7	15.2	
8	RC-N8	15		RC-O8	15.6	
9	RC-N9	14.8		RC-O9	16	
10	RC-N10	15.2		RC-O10	15	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium



Dari tabel 4.10 slump rata-rata beton agregat normal 15,83 cm dan beton agregat limbah onyx 15,39 memenuhi syarat yang telah ditetapkan yaitu 60 – 180 mm.

#### 4.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian beton keras dilakukan pengujian berupa kuat tekan benda uji silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan setelah beton berusia 28 hari, dengan menggunakan alat “*Compression Testing Machine*”. Pada pengujian kuat tekan beton digunakan total 40 benda uji silinder, dengan masing – masing 20 buah benda uji untuk beton dengan agregat kasar batu kerikil dan agregat kasar limbah onyx. Rinciannya adalah pada masing – masing benda uji balok beton bertulang terdiri dari 2 silinder beton. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil seperti pada tabel berikut :





Tabel 4.11 *Kuat Tekan Beton Normal*

No	Kode Beton	Umur (hari)	Berat (kg)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	RC-N1-S1	28	13,25	30,80	35,72
2	RC-N1-S2	28	13	25,77	
3	RC-N2-S1	28	13,15	30,91	
4	RC-N3-S1	28	13,05	23,11	
5	RC-N4-S1	28	13	31,78	
6	RC-N5-S1	28	13	40,16	
7	RC-N5-S2	28	13,25	43,68	
8	RC-N6-S1	28	13,65	41,78	
9	RC-N6-S2	28	13,3	30,11	
10	RC-N7-S1	28	13,2	38,77	
11	RC-N7-S2	28	13,15	37,67	
12	RC-N8-S1	28	13,1	37,56	
13	RC-N8-S2	28	13,6	39,87	
14	RC-N9-S1	28	13,25	38,71	
15	RC-N10-S1	28	13,05	41,03	
16	RC-N10-S2	28	13	39,87	

*Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium*

Tabel 4.12 *Kuat Tekan Beton Onyx*

No	Kode Beton	Umur (hari)	Berat (kg)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	RC-O1-S1	28	12,5	31,78	
2	RC-O1-S2	28	13,15	37,56	
3	RC-O2-S1	28	13,05	32,94	
4	RC-O2-S2	28	12,9	27,56	
5	RC-O3-S1	28	13,15	35,02	
6	RC-O3-S2	28	13,1	31,20	
7	RC-O4-S1	28	13,35	34,67	
8	RC-O5-S1	28	13,2	32,94	
9	RC-O6-S1	28	12,9	32,36	
10	RC-O6-S2	28	13	32,94	32,92
11	RC-O7-S1	28	12,9	37,27	
12	RC-O7-S2	28	13,05	31,72	
13	RC-O8-S1	28	13,25	33,86	
14	RC-O8-S2	28	13,25	27,79	
15	RC-O9-S1	28	13,2	32,53	
16	RC-O9-S2	28	13	31,49	
17	RC-O10-S1	28	13	32,99	
18	RC-O10-S2	28	13,2	35,88	

*Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium*

Dari tabel 4.11 dan 4.12 didapat hasil nilai perbandingan antara kuat tekan beton normal dan onyx, dimana kuat tekan beton normal rata – rata yaitu sebesar 35,72 Mpa dan untuk beton dengan agregat limbah onyx nilai kuat tekan rata – rata sebesar 32,92 Mpa. Menunjukkan kuat tekan rata – rata beton agregat onyx lebih kecil dari beton agregat normal namun masih memenuhi kuat tekan rencana yaitu 32 Mpa.

Untuk membuktikan kuat tekan rata – rata beton normal lebih besar daripada beton onyx dilakukan uji statistik berupa uji T.

Hipotesa :  $H_0 = X_1 \leq X_2$ , Kuat tekan beton onyx tidak lebih besar dari kuat tekan beton normal

$H_a = X_1 > X_2$ , Kuat tekan beton onyx lebih baik dari kuat tekan beton normal

Uji t (perhitungan nilai t)

Tolak  $H_0$  apabila harga thitung( $t_o$ ) sama atau lebih besar dari harga ttabel ( $t(1-\alpha)(db)$ )

Uji Homogenitas

Hipotesis :  $H_0 = X_1 \geq X_2$  Kedua varians homogen

$H_a = X_1 < X_2$  Kedua varian tidak homogen (heterogen)

Uji F (perhitungan nilai F)

Tolak  $H_0$  apabila harga Fhitung( $F_o$ ) sama atau lebih besar dari harga Ftab ( $F(\alpha)(n_1-1, n_2-1)$ )

Tabel 4.13 Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton Onyx

No	Kode	X	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt) <sup>2</sup>
1	RC-O1-S1	31,78	32,92	-1,14	1,29
2	RC-O1-S2	37,56		4,64	21,56
3	RC-O2-S1	32,94		0,02	0,0004
4	RC-O2-S1	27,56		-5,36	28,69
5	RC-O3-S1	35,02		2,10	4,42
6	RC-O3-S2	31,2		-1,72	2,95
7	RC-O4-S1	34,67		1,75	3,07
8	RC-O5-S1	32,94		0,02	0,0004
9	RC-O6-S1	32,36		-0,56	0,31
10	RC-O6-S2	32,94		0,02	0,0004
11	RC-O7-S1	37,27		4,35	18,95
12	RC-O7-S2	31,72		-1,20	1,43
13	RC-O8-S1	33,86		0,94	0,89
14	RC-O8-S2	27,79		-5,13	26,28
15	RC-O9-S1	32,53		-0,39	0,15
16	RC-O9-S2	31,49		-1,43	2,04
17	RC-O10-S1	32,99		0,07	0,014
18	RC-O10-S2	35,88		2,96	8,78
Jumlah					120,83

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Onyx} = \sqrt{\frac{120,83}{(18 - 1)}}$$

$$Sd \text{ onyx} = 2,66603$$

$$S^2 \text{ onyx} = 7,10769$$

Tabel 4.14 Perhitungan Nilai Rata – rata Kuat Tekan Beton Normal

No	Kode Beton	X	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt) <sup>2</sup>
1	RC-N1-S1	30,8	35,72	-4,92	24,24
2	RC-N1-S2	25,77		-9,95	99,08
3	RC-N2-S1	30,91		-4,81	23,17
4	RC-N3-S1	23,11		-12,61	159,11
5	RC-N4-S1	31,78		-3,94	15,55
6	RC-N5-S1	40,16		4,44	19,68
7	RC-N5-S2	43,68		7,96	63,30
8	RC-N6-S1	41,78		6,06	36,68
9	RC-N6-S2	30,11		-5,61	31,51
10	RC-N7-S1	38,77		3,05	9,28
11	RC-N7-S2	37,67		1,95	3,79
12	RC-N8-S1	37,56		1,84	3,37
13	RC-N8-S2	39,87		4,15	17,19
14	RC-N9-S1	38,71		2,99	8,92
15	RC-N10-S1	41,03		5,31	28,16
16	RC-N10-S2	39,87		4,15	17,19
Jumlah					560,22

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Normal} = \sqrt{\frac{560,22}{(16 - 1)}}$$

$$Sd \text{ normal} = 6,11132$$

$$S^2 \text{ normal} = 37,3482$$

Tabel 4.15 Perbandingan Nilai Onyx dan Normal

Dicari	Onyx	Normal
Jumlah sampel (n)	18	16
Rata - rata (x)	32,92	35,72
Simpangan baku (Sd)	2,6660	6,1113
Varians (S <sup>2</sup> )	7,1077	37,3482

$$F \text{ hitung} = \frac{S^2 \text{ Onyx}}{S^2 \text{ Normal}}$$

$$F_{hitung} = \frac{7,1077}{37,3482}$$

$$F_{hitung} = 0.19031$$

$$F_{0,05(17,15)} = 2.36827$$

$F_{hitung} < F_{tabel}$ ,  $H_0$  diterima kedua Variasi homogen

Perhitungan T

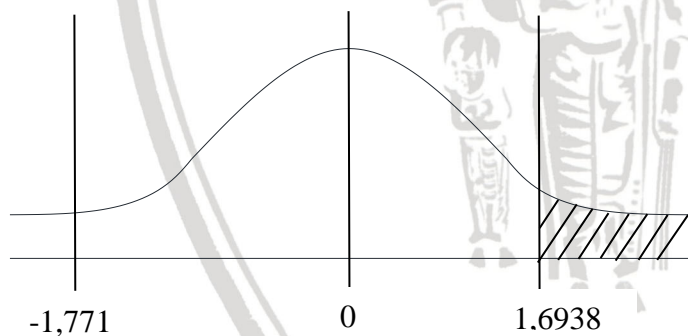
$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad S = \sqrt{\frac{(18 - 1)7,10769 + (16 - 1)37,3482}{18 + 16 - 2}}$$

$$S = 4.6133$$

$$T_{hitung} = \frac{x_1 - x_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad T_{hitung} = \frac{32,92 - 35,72}{4,61334 \sqrt{\frac{1}{18} + \frac{1}{16}}}$$

$$T_{hitung} = -1,771$$

$$t_{tabel} T_{0,05(32)} = 1,69389$$



Gambar 4.4 Distribusi T satu arah uji tekan

Tolak  $H_0$  apabila harga  $t_{hitung}(t_o)$  sama atau lebih besar dari harga  $t_{tabel} (T(\alpha)(db))$ ,  $H_0$  diterima kuat tekan beton *onyx* tidak lebih besar dari kuat tekan beton normal.



#### 4.6 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan sebenarnya dari tulangan yang digunakan dalam penelitian ini. Tulangan baja yang digunakan terdiri dari tulangan Ø12 mm sebagai tulangan utama, dan tulangan Ø8 sebagai sengkang. Tiap – tiap tulangan diberi 4 sampel benda uji, yang masing – masing diukur diameter, panjang awal dan beratnya.

Tabel 4.16 *Mutu baja Ø8*

Nama Pengukuran	Ø 8-1	Ø 8-2	Ø8-3	Ø8-4	Rata - Rata	Satuan
Diameter	7,67	7,69	7,45	7,45	7,565	mm
Panjang Awal	80	80	80	80	80,000	mm
Berat	362	364	342	342	352,500	gr/m
Luas Awal	46,16	46,42	43,61	43,61	44,950	mm <sup>2</sup>
Beban Leleh	17,5	17,6	17,5	17,4	17,500	KN
Pertambahan Panjang Leleh	3,5	3,75	3	3,5	3,438	mm
Beban Putus	19	19,2	19,2	18,8	19,050	KN
Pertambahan Panjang Putus	33,5	32	33	36,75	33,813	mm
Py	17500	17600	17500	17400	17500	N
εy	4,375	4,688	3,750	4,375	4,297	%
fy	379,116	379,147	401,284	398,991	389,635	MPa
Pu	19000	19200	19200	18800	19050	N
εu	41,875	40,000	41,250	45,938	42,266	%
fu	411,612	413,615	440,266	431,094	424,147	MPa

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Perhitungan

Tabel 4.17 Mutu baja Ø12

Nama Pengukuran	Ø12-1	Ø12-2	Ø12-3	Ø12-4	Rata - Rata	Satuan
Diameter	11,770	11,790	11,840	11,830	11,808	mm
Panjang Awal	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	mm
Berat	853,330	855,830	863,330	861,600	858,523	gr/m
Luas Awal	108,847	109,140	110,100	109,890	109,494	mm <sup>2</sup>
Beban Leleh	36,700	37,000	37,300	37,200	37,050	KN
Pertambahan Panjang Leleh	7,000	5,000	6,000	6,000	6,000	mm
Beban Putus	38,500	39,000	39,200	39,300	39,000	KN
Pertambahan Panjang Putus	53,000	50,000	56,000	47,000	51,500	mm
Py	36700	37000	37300	37200	37050	N
εy	5,833	4,167	5,000	5,000	5,000	%
fy	337,170	339,014	338,783	338,520	338,372	MPa
Pu	38500	39000	39200	39300	39000	N
εu	44,167	41,667	46,667	39,167	42,917	%
fu	353,707	357,339	356,040	357,630	356,179	MPa

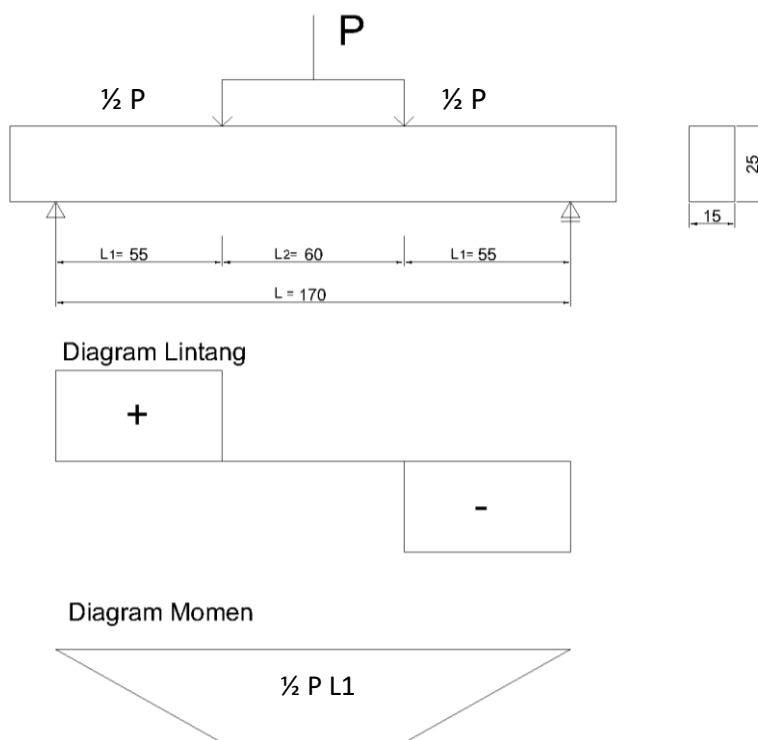
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Perhitungan

Dari hasil pengujian kuat tarik baja didapatkan nilai rata – rata tegangan leleh baja  $f_y$  Ø8 adalah sebesar 389,635 MPa, sementara untuk baja dengan Ø12 yang digunakan sebagai tulangan utama memiliki tegangan leleh rata – rata  $f_y$  Ø12 sebesar 338,372 MPa.

## 4.7 Analisis Perhitungan Beban Maksimum (P) Teoritis

### 4.7.1 Pemodelan Struktur

Sebelum melakukan analisis perhitungan beban maksimum ( $P_u$ ) secara teoritis perlu dilakukan pemodelan struktur terlebih dahulu. Balok ditumpu oleh dua tumpuan yaitu sendi-rol. Pembebanan dilakukan seperti pada gambar berikut :



Gambar 4.5 Pemodelan Pembebanan Struktur

### 4.7.2 Analisis P Maksimum

- Panjang balok ( $L$ ) = 200 cm
- Lebar Balok ( $b$ ) = 15 cm
- Tinggi Balok ( $h$ ) = 25 cm

## Perhitungan P teoritis Beton Normal

$$\begin{aligned}
 C &= T \\
 0,85.f'c.a.b &= As.fy \\
 a &= \frac{As.fy}{0,85.f'c.b} \\
 &= \frac{226*338}{0,85*35,72*150} \\
 &= 16,81 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned}
 Mn &= As.fy.(d-1/2.a) \\
 Mn &= 226*338*(216-1/2*16,81) \\
 &= 1589,52 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} P &= \frac{Mn}{L1} \\
 \frac{1}{2} P &= \frac{1589,52}{0,55} \\
 \frac{1}{2} P &= 2890,036 \text{ kg} \\
 P &= 5780,072 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

#### Perhitungan P teoritis Beton Onyx

$$\begin{aligned}
 C &= T \\
 0,85.f'c.a.b &= As.fy \\
 a &= \frac{As.fy}{0,85.f'c.b} \\
 &= \frac{226*338}{0,85*32,92*150} \\
 &= 18,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Momen Nominal

$$\begin{aligned}
 Mn &= As.fy.(d-1/2.a) \\
 Mn &= 226*338*(216-1/2*18,24) \\
 &= 1584,045 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} P &= \frac{Mn}{L1} \\
 \frac{1}{2} P &= \frac{1584,045}{0,55} \\
 \frac{1}{2} P &= 2880,082 \text{ kg} \\
 P &= 5760,164 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Teoritis Kapasitas Lentur Balok Beton

Tipe Agregat	P teoritis (kg)	P pengujian (kg)	Perbandingan Selisih (%)
Kerikil	5780,072	6285	8,03
Batu Onyx	5760,164	6275	8,20

#### 4.8 Perawatan Beton

Perawatan beton dilakukan setelah pengecoran hingga beton berumur 28 hari untuk menjaga ketersediaan air untuk proses hidrasi. Benda uji yang sudah dicetak didiamkan selama 24 jam. Kemudian dikeluarkan dari cetakan dan ditutup dengan karung goni yang telah dibasahi dan dijaga kelembapannya selama 28 hari.

#### 4.9 Pengujian Balok Beton

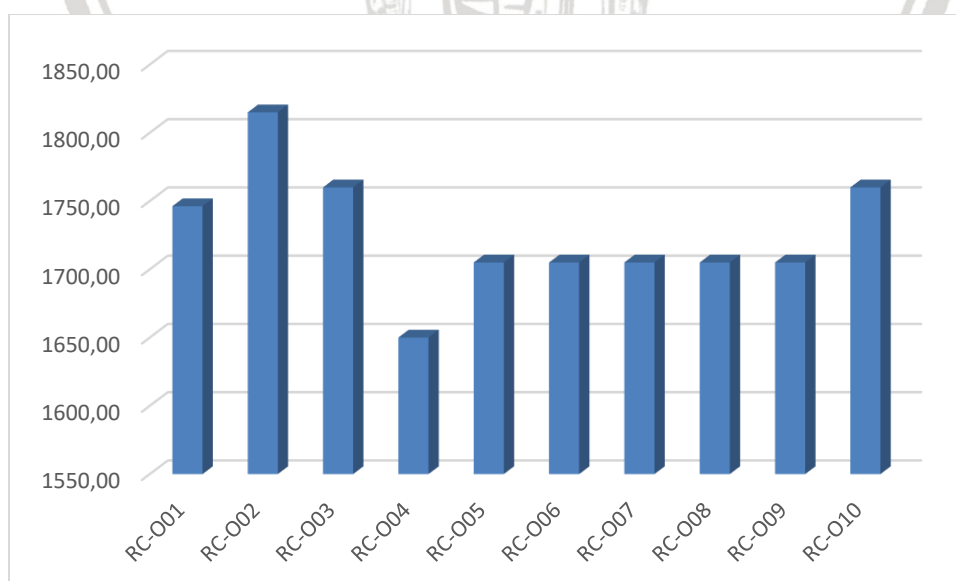
Pengujian kuat lentur dilakukan dengan menggunakan dua beban terpusat simetris seperti pada gambar. Balok berdimensi 15 x 25 x 200 cm yang telah berumur 28 hari dipersiapkan dan diletakkan diatas tumpuan. Kemudian dilakukan setting peralatan pengujian.

##### 4.9.1 Kuat Lentur Balok Uji

Nilai kuat lentur antara agregat kasar batu onyx dan kerikil diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel. 4.19 Kuat Lentur Balok Beton Agregat Limbah Batu Onyx

No	Kode Sampel	Beban Maksimum (kg)	Kuat Lentur Pengujian (kgm)	Kuat Lentur Teoritis (kgm)
1	RC-O01	6350	1746,25	1584,045
2	RC-O02	6600	1815,00	
3	RC-O03	6400	1760,00	
4	RC-O04	6000	1650,00	
5	RC-O05	6200	1705,00	
6	RC-O06	6200	1705,00	
7	RC-O07	6200	1705,00	
8	RC-O08	6200	1705,00	
9	RC-O09	6200	1705,00	
10	RC-O10	6400	1760,00	
			1725,625	8,20%

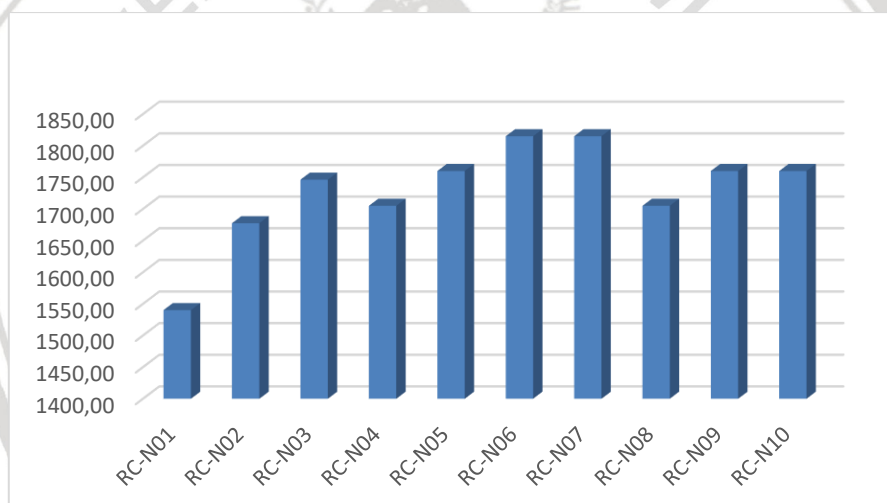


Gambar 4.6 Grafik kuat lentur balok beton bertulang agregat limbah batu onyx

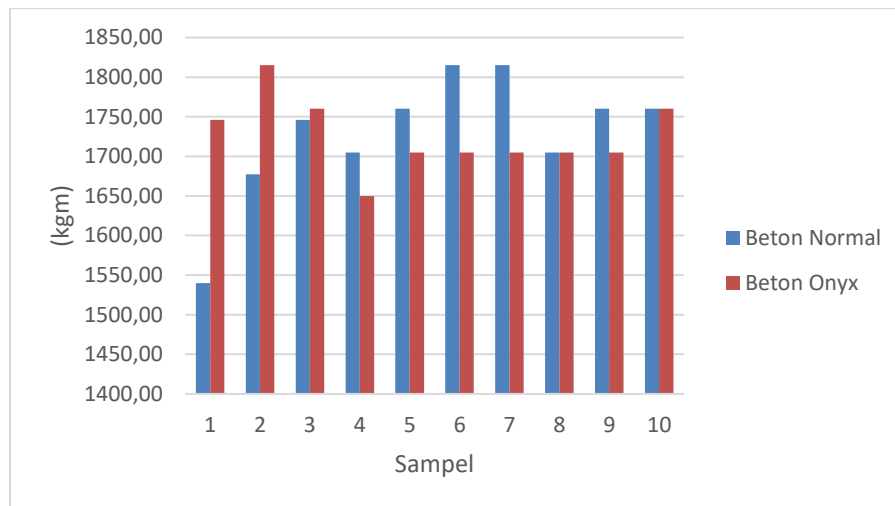


Tabel. 4.20 Kuat Lentur Balok Beton Agregat Kerikil

No	Kode Sampel	Beban Maksimum (kg)	Kuat Lentur Pengujian (kgm)	Kuat Lentur Teoritis (kgm)
1	RC-N01	5600	1540,00	1589,520
2	RC-N02	6100	1677,50	
3	RC-N03	6350	1746,25	
4	RC-N04	6200	1705,00	
5	RC-N05	6400	1760,00	
6	RC-N06	6600	1815,00	
7	RC-N07	6600	1815,00	
8	RC-N08	6200	1705,00	
9	RC-N09	6400	1760,00	
10	RC-N10	6400	1760,00	
			1728,38	8,03%



Gambar 4.7 Grafik kuat lentur balok beton bertulang agregat kerikil



Gambar 4.8 Grafik perbandingan kuat lentur balok beton bertulang agregat kerikil dengan limbah batu onyx

#### 4.10 Uji Hipotesis

Pengujian Hipotesis dilakukan dengan uji T untuk mengetahui apakah hipotesis awal dapat diterima atau ditolak. Hipotesis dalam penelitian ini sebagai berikut :

$H_0$  = Hipotesis awal yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan kuat lentur yang signifikan antara balok beton agregat limbah batu onyx dengan balok beton agregat kerikil.

$H_1$  = Hipotesis awal yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan kuat lentur yang signifikan antara balok beton agregat limbah batu onyx dengan balok beton agregat kerikil.

Kriteria pengujian :

Tolak  $H_0$  apabila harga  $T_{hitung}$  sama atau lebih besar dari harga  $T$  tabel.

Uji Homogenitas

Hipotesis :  $H_0 = X_1 \geq X_2$  Kedua varians homogen

$H_a = X_1 < X_2$  Kedua varian tidak homogen (heterogen)

Uji F (perhitungan nilai F)

Tolak  $H_0$  apabila harga  $F_{hitung}(F_o)$  sama atau lebih besar dari harga  $F_{tabel}(F(\alpha)(n_1-1, n_2-1))$

Tabel. 4.21 Perhitungan Rata-Rata Kuat Lentur Balok Agregat Limbah Batu Onyx

No	Kode Sampel	Beban Maksimum (kg)	X	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt)^2
1	RC-O01	6350	1746,25	1725,625	20,625	425,391
2	RC-O02	6600	1815,00		89,375	7987,891
3	RC-O03	6400	1760,00		34,375	1181,641
4	RC-O04	6000	1650,00		-75,625	5719,141
5	RC-O05	6200	1705,00		-20,625	425,391
6	RC-O06	6200	1705,00		-20,625	425,391
7	RC-O07	6200	1705,00		-20,625	425,391
8	RC-O08	6200	1705,00		-20,625	425,391
9	RC-O09	6200	1705,00		-20,625	425,391
10	RC-O10	6400	1760,00		34,375	1181,641
			Jumlah			18622,656

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Onyx} = \sqrt{\frac{18622,656}{(10 - 1)}}$$

$$Sd \text{ onyx} = 45,488$$

$$S^2 \text{ onyx} = 2069,184$$

Tabel. 4.22 Perhitungan Rata-Rata Kuat Lentur Balok Agregat Kerikil

No	Kode Sampel	Beban Maksimum (kg)	Kuat Lentur Pengujian (kgm)	Xrt	X-Xrt	(X-Xrt)^2
1	RC-N01	5600	1540,00	1728,375	-185,625	34456,64
2	RC-N02	6100	1677,50		-48,125	2316,016
3	RC-N03	6350	1746,25		20,625	425,3906
4	RC-N04	6200	1705,00		-20,625	425,3906
5	RC-N05	6400	1760,00		34,375	1181,641
6	RC-N06	6600	1815,00		89,375	7987,891
7	RC-N07	6600	1815,00		89,375	7987,891
8	RC-N08	6200	1705,00		-20,625	425,3906
9	RC-N09	6400	1760,00		34,375	1181,641
10	RC-N10	6400	1760,00		34,375	1181,641
Jumlah						57569,53

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(X - Xrt)^2}{(n - 1)}}$$

$$Sd \text{ Kerikil} = \sqrt{\frac{57569,53}{(10 - 1)}}$$

$$Sd \text{ kerikil} = 79,979$$

$$S^2 \text{ kerikil} = 6396,61$$

Tabel 4.23 Perbandingan Nilai Onyx dan Normal

Dicari	Onyx	Normal
Jumlah sampel (n)	10	10
Rata - rata (x)	1725,625	1728,375
Simpangan baku (Sd)	45,488	79,979
Varians (S <sup>2</sup> )	2069,184	6396,61

$$F \text{ hitung} = \frac{S^2 \text{ Onyx}}{S^2 \text{ Normal}}$$

$$F_{hitung} = \frac{2069,184}{6396,61}$$

$$F_{hitung} = 0,3235$$

$$F_{0,05(9,9)} = 3,17889$$

$F_{hitung} < F_{tab}$  ,  $H_0$  diterima kedua Variasi homogen

Perhitungan Uji T

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(10 - 1)2069,184 + (10 - 1)6396,61}{10 + 10 - 2}}$$

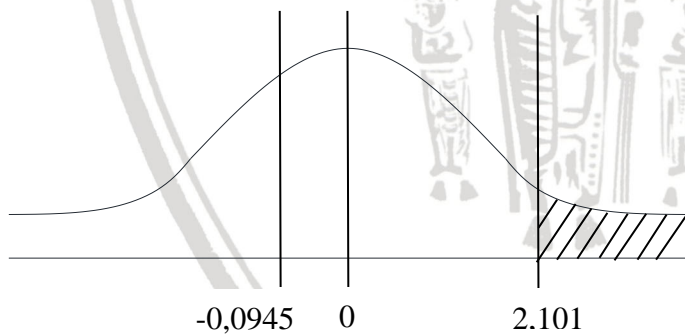
$$S = 65,06074$$

$$T_{hitung} = \frac{x_1 - x_2}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$T_{hitung} = \frac{1725,625 - 1728,375}{65,06074 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}}$$

$$T_{hitung} = -0,094514562$$

$$t_{tabel} \quad T_{0,05(18)} = 2,101$$



Gambar 4.9 Distribusi T satu arah uji kuat lentur

Nilai T hitung tidak berada pada daerah penolakan.  $H_0$  diterima, tidak terdapat perbedaan kuat lentur yang signifikan antara balok agregat limbah batu *onyx* dengan balok agregat kerikil.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*





## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan mengenai penggunaan limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar balok beton bertulang sebagai berikut :

1. Penggunaan agregat limbah batu onyx berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton dengan limbah batu onyx sebesar 32,92 Mpa sedangkan rata-rata kuat tekan beton agregat kerikil adalah 35,72 Mpa.
2. Pemakaian agregat limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar berpengaruh terhadap kuat lentur balok beton bertulang.
3. Hasil pengujian hipotesis dengan nilai signifikansi 5% menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan kuat lentur yang signifikan antara balok beton bertulang agregat limbah batu onyx dengan balok beton bertulang agregat kerikil. Kuat lentur rata-rata balok beton bertulang agregat limbah batu onyx sebesar 1725,63 kgm dan kuat lentur rata-rata balok beton bertulang agregat kerikil 1728,38 kgm.
4. Limbah batu onyx layak digunakan sebagai agregat kasar beton struktural karena dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan yang dihasilkan hampir sama.

#### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian pengaruh limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar beton terhadap kuat lentur balok beton bertulang, saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian lebih lanjut yakni :

1. Dimungkinkan untuk penelitian limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar beton bertulang dapat diaplikasikan ke dalam struktur lainnya seperti panel dan kolom. Karena dari hasil pengujian penelitian ini didapatkan kuat tekan yang tidak signifikan perbedaannya.

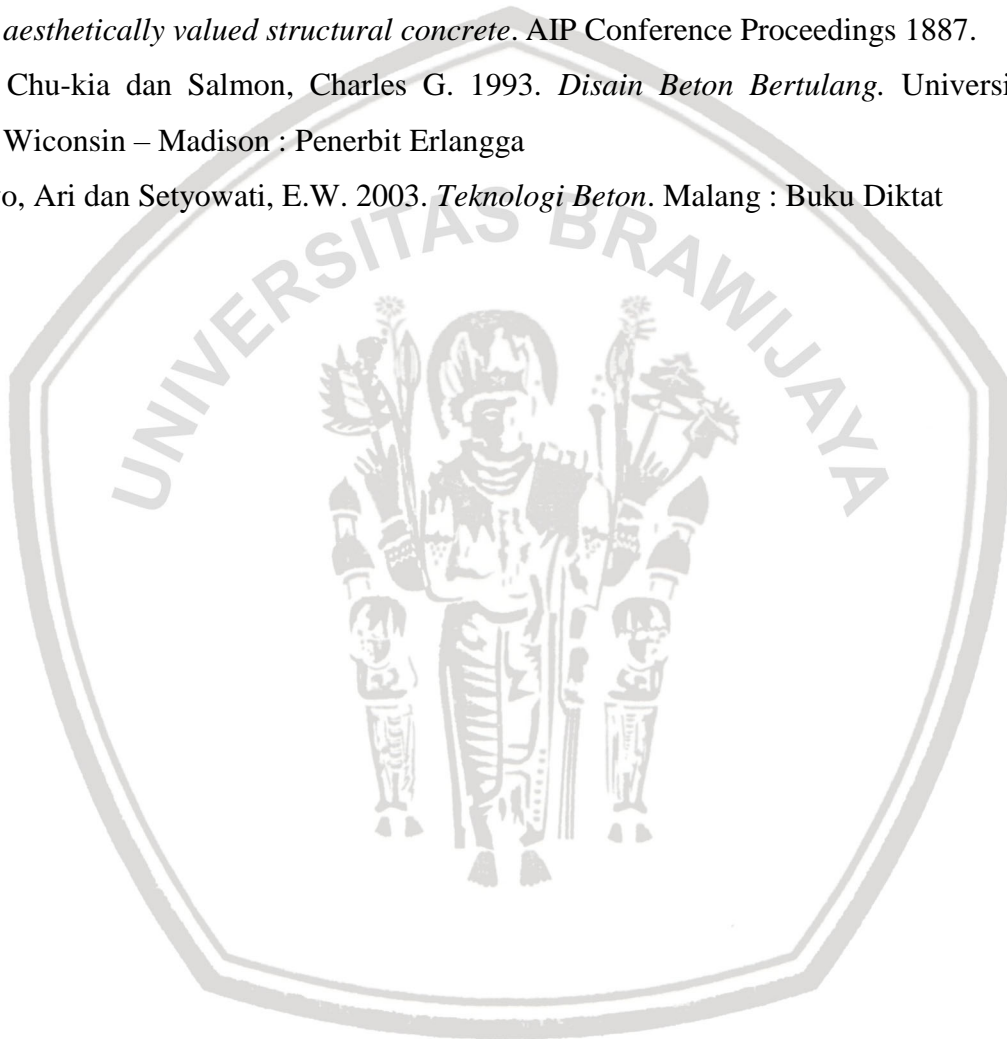
2. Dimungkinkan untuk penelitian menggunakan nilai rasio tulangan untuk struktur balok dapat menggunakan nilai rasio tulangan yang disarankan agar mendekati kondisi di lapangan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arel, Hasan Sahan. 2016. *Recyclability of waste marble in concrete prduction*. Faculty of architecture, Izmir University, Turkey: Journal El Sevier
- Annisa, A.N. and Setyowati, E.W., 2016. *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tarik Belah Beton*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(1), pp.pp-142.
- ASTM C.33 – 03, 2002, *Standard Spesification for Concrete Aggregates*, Annual Books of ASTM Satndards, USA
- Hebhoub, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., 2011. *Use of waste marble aggregates in concrete*. Constr. Build. Mater.
- Hendro Suseno. 2010. *Bahan Bangunan Untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media
- Khosemde, Aisah Nurandilah, Edhy Wahyuni Setyowati, dan Wisnumurti. 2016. *Pengaruh penggunaan limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton terhadap porositas beton : Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*.
- Kondolf, G. Mathias, 1997. *Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels*. Environmental Management Vol. 21, No. 4, pp. 533–551.
- Lollino, Giorgio, et al., 2015. *On the Morphological Impacts of Gravel Mining:The Case of the Orco River*. Engineering Geology for Society and Territory – Volume 3.
- MacGregor, James G., James K Wight. 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey : Prentice-Hall,Inc.
- Marble Institute of America. 2016. *Marble and Onyx*. Ohio. An except from the dimension stone design manual version VIII.
- Marble Institute of America. 2011. *Calcareous Onyx*. Ohio. Technical Bulletin.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- Nasional, Badan Standarisasi. "SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal." BSN, Jakarta (2000).
- Nasional, B.S., 2013. SNI 03-2847-2013 *Standar Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : Penerbit PT. Refika Aditama
- Nurlina, Siti. 2008. *Teknologi Bahan*. Malang. Bargie Media.

- Raya, Beta Taufiq., Setyowati, E.W., dan Retno Anggraini. 2016. *Pengaruh penggunaan limbah batu onyx sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton terhadap kuat lentur beton* : Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil.
- Rodrigues, R., de Brito, J., Sardinha, M., 2015. *Mechanical properties of structural concrete containing very fine aggregates from marble cutting sludge*. Constr. Build. Mater.
- Sadek, D.M., El-Attar, M.M., Ali, H.A., 2016. *Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development*. J. Clean. Prod. 121.
- Setyowati, E.W., Soehardjono, A., dan Wisnumurti. 2017. *Concrete with onyx waste as aesthetically valued structural concrete*. AIP Conference Proceedings 1887.
- Wang, Chu-kia dan Salmon, Charles G. 1993. *Disain Beton Bertulang*. University of Wiconsin – Madison : Penerbit Erlangga
- Wibowo, Ari dan Setyowati, E.W. 2003. *Teknologi Beton*. Malang : Buku Diktat





# LAMPIRAN





## LAMPIRAN 1

### DATA PENGUJIAN MATERIAL PEMBUATAN BETON NORMAL DAN ONYX

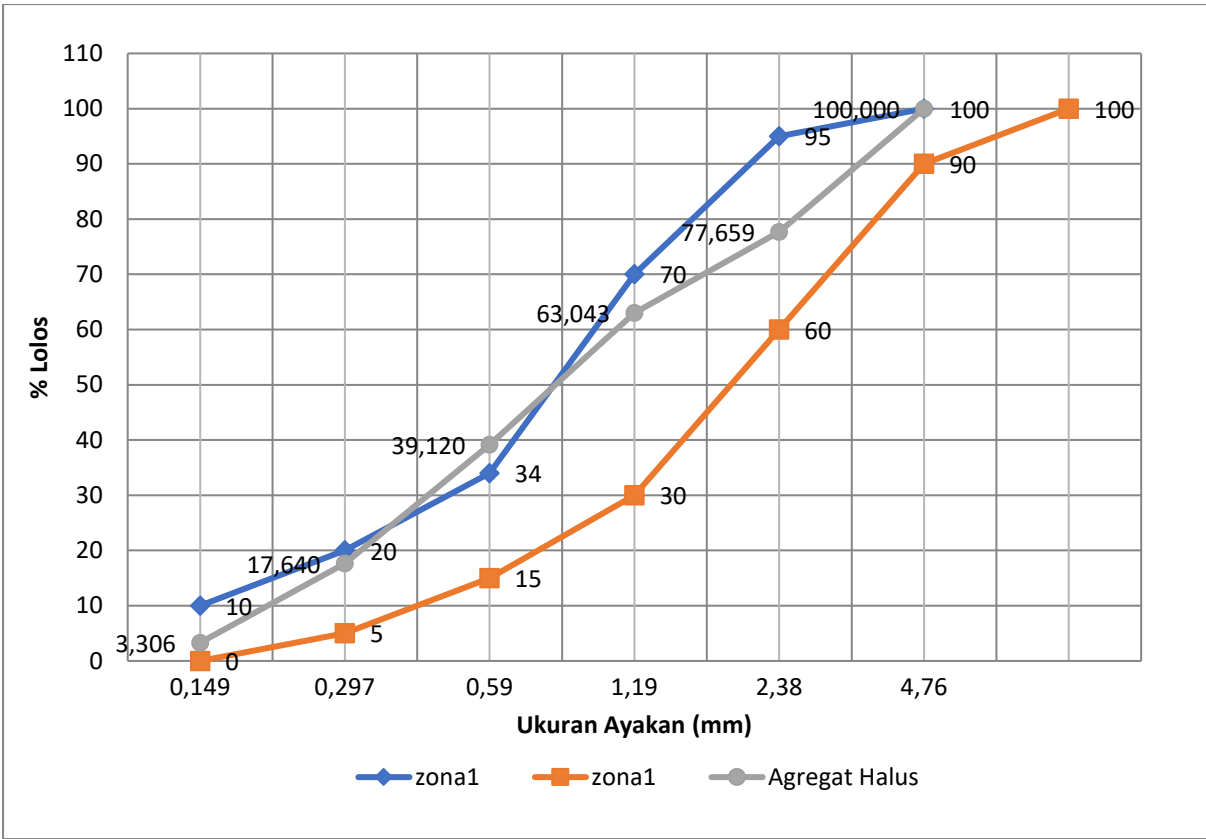
Tabel L 1.1 Analisis Gradasi Agregat Halus

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	-
2.5"	63,5	-	-	-	-
2"	50,8	-	-	-	-
1.5"	38,1	-	-	-	-
1"	25,4	-	-	-	-
3/4"	19,1	-	-	-	-
1/2"	12,7	-	-	-	-
3/8"	9,5	-	-	-	100
4	4,76	100	7,447	7,447	92,553
8	2,38	200,00	14,894	22,341	77,659
16	1,19	196,27	14,616	36,957	63,043
30	0,59	321,24	23,923	60,880	39,120
50	0,297	288,44	21,480	82,360	17,640
100	0,149	192,48	14,334	96,694	3,306
200	0,075	44,39	3,306	100,000	0,000
Pan				-	-
Σ =		1342,82	100	306,680	

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/8" \text{ sampai no } 100}{100}$$

$$= \frac{306,68}{100}$$

$$= 3,0668$$



Gambar L 1.1 Grafik Lenkung Ayakan Pasir

Tabel L 1.2 Kadar Air Agregat Halus

Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	31,9	105,5
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	31,2	104,9
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0,7	0,6
4	Berat Talam	(gr)	6,1	6,1
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	25,1	98,8
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,0600	0,0040
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0,0500	

Tabel L 1.3 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

1	Berat takaran	(gr)	1640	1640
2	Berat takaran + air	(gr)	4800	4800
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3160	3160
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3160,0	3160
	<b>CARA</b>		<b>Shoveled</b>	<b>Rodded</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	5560	6820
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3920	5180
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,2405	1,6392
9	Berat isi agregat halus pakai	(gr/cc)	1,639	

Tabel 1.4 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

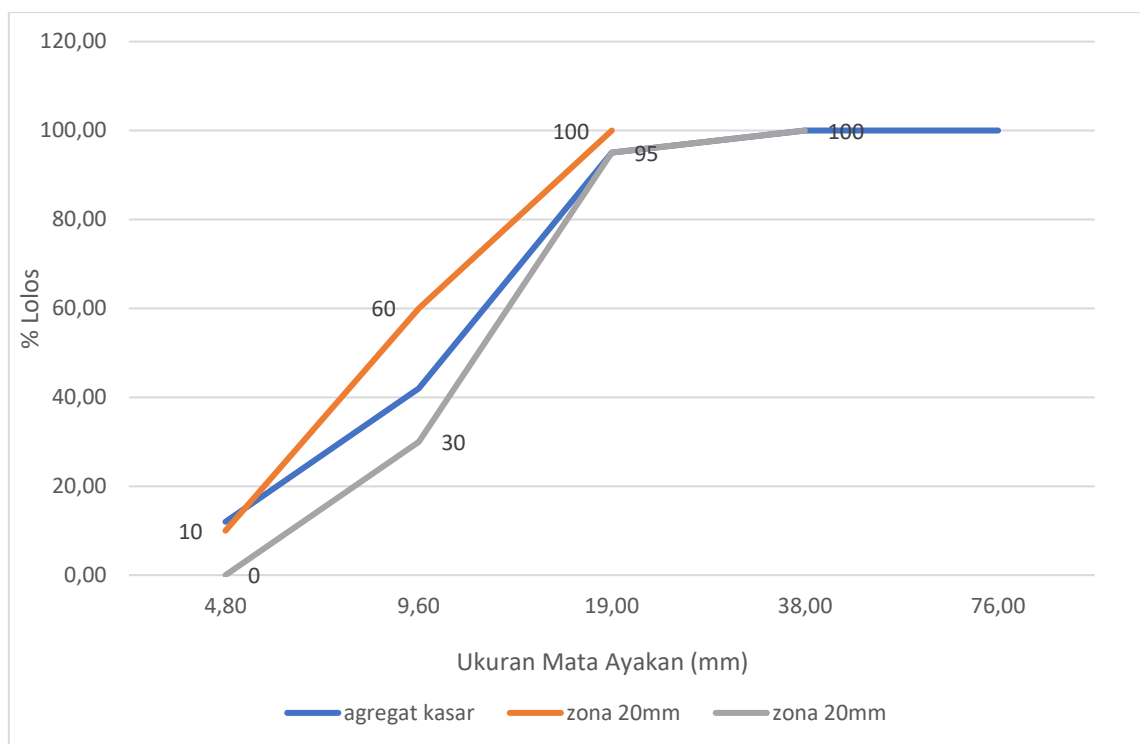
<b>NOMOR CONTOH</b>			<b>A</b>	<b>B</b>
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	497,59	497,18
Berat benda uji dalam air	B	(gr)	681,2	658,4
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	972,4	969,4

<b>NOMOR CONTOH</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Rata - rata</b>
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	$Bk/(B+500-Bt)$	2,383	2,631	2,507
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	$500/(B+500-Bt)$	2,395	2,646	2,520
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	$Bk/(B+Bk-Bt)$	2,411	2,670	2,541
Penyerapan (%) (Absorption)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$	0,484	0,567	0,526

Tabel 1.5 Analisis Gradasi Agregat Kasar Normal

Lubang Saringan		KERIKIL			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	100
2.5"	63,5	-	-	-	100
2"	50,8	-	-	-	100
1.5"	38,1	-	-	-	100
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
0.75"	19,1	500,00	5,38	5,00	95,00
0.375"	9,5	5300,00	56,99	58,00	42,00
4	4,76	3000,00	32,26	88,00	12,00
8	2,38	700,0	7,00	95	-
16	1,19	-	-	100	-
30	0,59	-	-	100	-
50	0,297	-	-	100	-
100	0,149	-	-	100	-
200	0,075	-	-	-	-
Pan		-	-	-	-
Σ =		10000	95,0	651,00	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus agregat kasar} &= \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100} \\
 &= \frac{651}{100} \\
 &= 6,51
 \end{aligned}$$



Gambar L 1.2 Grafik Lenngkung Ayakan Agregat Kasar Normal

Tabel L 1.6 Kadar Air Agregat Kasar Normal

Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	80,4	79,2
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	79,9	79
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0,5	0,2
4	Berat Talam	(gr)	5,7	6,1
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	74,2	72,9
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,0067	0,0042
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0,00548	

Tabel L 1.7 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Normal

1	Berat takaran	(gr)	1640	1640
2	Berat takaran + air	(gr)	4800	4800
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3160	3160
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3160	3160
	<b>CARA</b>		<b>Shoveled</b>	<b>Rodded</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6180	6700
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	4540	5060
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,43	1,60
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1,60	

Tabel L 1.8 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Nomal

Nomor Contoh			A	B
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	4998,6	4995
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4952	4949,2
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3167	3162

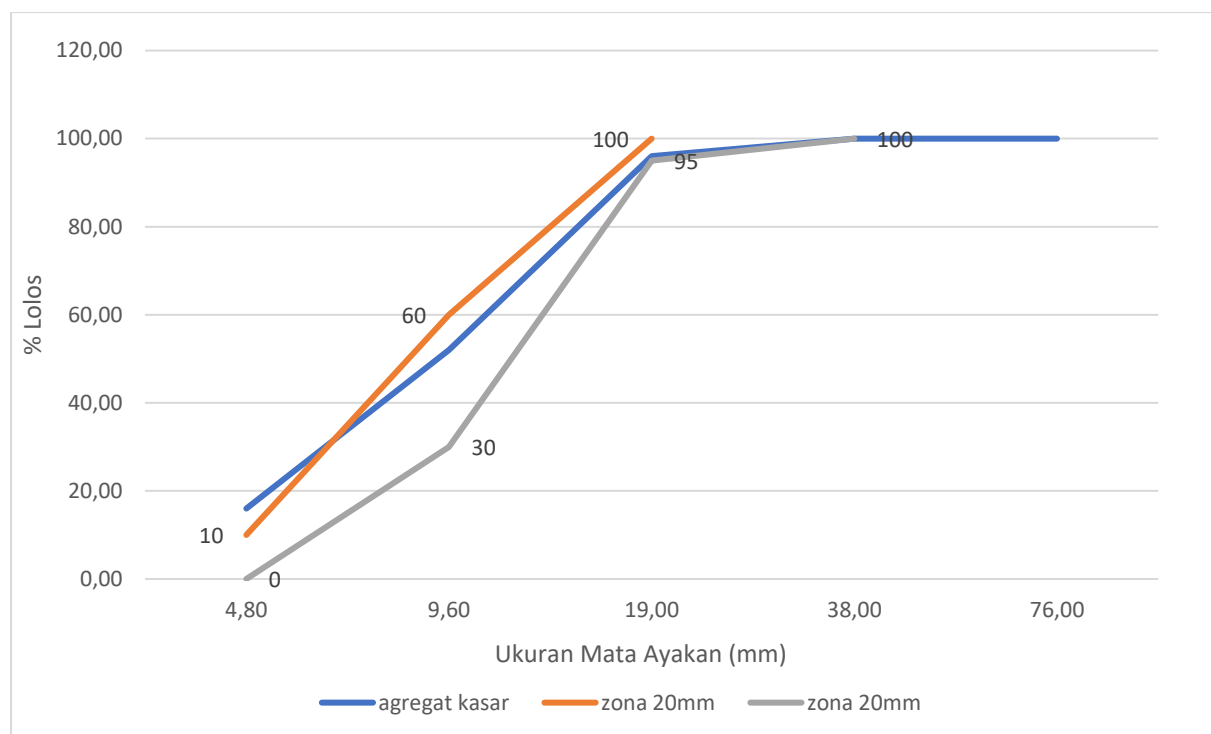
Nomor Contoh		A	B	Rata - Rata
Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Grafity)	Bk/(Bj-Ba)	2,704	2,700	2,702
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)	Bj/(Bj-Ba)	2,729	2,725	2,727
Berat Jenis Semu Apparent Spesific Gravity)	Bk/(Bk-Ba)	2,774	2,769	2,772
Penyerapan (%) (Absorption)	(Bj- Bk)/Bkx100%	0,941	0,925	0,933



Tabel 1.9 Analisis Gradasi Agregat Onyx

Lubang Saringan		ONYX			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	100
2.5"	63,5	-	-	-	100
2"	50,8	-	-	-	100
1.5"	38,1	-	-	-	100
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
0.75"	19,1	400,00	4,00	4,00	96,00
0.375"	9,5	4400,00	44,00	48,00	52,00
4	4,76	3600,00	36,00	84,00	16,00
8	2,38	800,00	8,00	92,00	-
16	1,19	-	-	100	-
30	0,59	-	-	100	-
50	0,297	-	-	100	-
100	0,149	-	-	100	-
200	0,075	-	-	-	-
Pan		-	-	-	-
Σ =		10000	92,0	628	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus agregat kasar} &= \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4" + 3/8" \text{ sampai no } 100}{100} \\
 &= \frac{628}{100} \\
 &= 6,28
 \end{aligned}$$



Gambar L 1.3 Grafik Lenngkung Ayakan Agregat Onyx

Tabel L 1.10 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Onyx

Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	80,4	79,2
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	79,9	79
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0,5	0,2
4	Berat Talam	(gr)	5,7	6,1
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	74,2	72,9
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0,0110	0,0072
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0,00910	

Tabel L 1.11 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Onyx

1	Berat takaran	(gr)	1640	1640
2	Berat takaran + air	(gr)	4800	4800
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	3160	3160
4	Volume air = (3)/(1)	(cc)	3160	3160
	<b>CARA</b>		<b>Shoveled</b>	<b>Rodded</b>
5	Berat Takaran	(gr)	1640	1640
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	6000	6320
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	4360	4680
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1,37	1,48
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1,48	

Tabel L. 12 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Onyx

Nomor Contoh			A	B
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj	(gr)	4953,4	4989,6
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	4943,2	4966
Berat benda uji dalam air	Ba	(gr)	3047,5	3082

Nomor Contoh		A	B	Rata - Rata
Berat Jenis Curah	Bk/(Bj-Ba)	2,594	2,603	2,598
(Bulk Spesific Grafity)				
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	Bj/(Bj-Ba)	2,599	2,616	2,607
(Bulk Spesific Grafity Saturated Surface Dry)				
Berat Jenis Semu	Bk/(Bk-Ba)	2,608	2,636	2,622
Apparent Spesific Gravity)				
Penyerapan (%)	(Bj-Bk)/Bkx100%	0,206	0,475	0,341
(Absorption)				

Tabel L 1.13 Perencanaan Mix Desain

NO	URAIAN	AGREGAT ONYX		AGREGAT KERIKIL	
1	Kuat tekan yang disyaratkan (2 HR, 5%)	20	Mpa	20	Mpa
2	Deviasi standar	-		-	
3	Nilai Tambah (Margin)	12	Mpa	12	Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	32	Mpa	32	Mpa
5	Jenis Semen	PPC		PPC	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Onyx		Batu pecah	
	Jenis Agregat Halus	Pasir Lumajang		Pasir Lumajang	
7	Faktor Air semen Bebas	0,4		0,4	
8	Faktor air semen Maksimum	0,6		0,6	
9	Slump	60 - 180 mm		60 - 180 mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	20	mm
11	Kadar Air Bebas	205	kg/m3	205	kg/m3
12	Jumlah semen	512,5	kg/m3	512,5	kg/m3
13	Jumlah Semen Maksimum	-		-	
14	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m3	275	kg/m3
15	FAS yg disesuaikan	-		-	
16	Susunan besar butir agregat halus	Zona 1		Zona 1	
17	Persen agregat halus	0,44		0,44	
18	Berat jenis relatif agregat (SSD)	2,569	kg/m3	2,636	kg/m3
19	Berat isi beton	2310	kg/m3	2360	kg/m3
20	Kadar agregat gabungan	1592,5	kg/m3	1642,5	kg/m3
21	Kadar agregat halus	700,7	kg/m3	722,7	kg/m3
22	Kadar agregat kasar	891,8	kg/m3	919,8	kg/m3

Perencanaan campuran (Mix design) bertujuan untuk mengetahui komposisi atau proporsi bahan-bahan penyusun beton. Hal ini dilakukan agar proporsi campuran dapat memenuhi syarat teknis pengujian.

1. Kuat tekan karakteristik yang ditetapkan yaitu 20 Mpa untuk umur 28 hari
2. Deviasi standar diabaikan karena data lapangan tidak tersedia sebelumnya atau data lapangan kurang dari 15 buah maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan  $f_{cr}$  harus diambil tidak kurang dari  $f_{cr} = f_{cr} + 12$  Mpa
3. Nilai tambah kuat tekan sebesar 12 Mpa sesuai dengan rumus, karena tidak ada data lapangan sebelumnya
4. Kuat tekan target  $f_{cr} = f_{cr} + 12 = 20 + 12 = 32$  Mpa
5. Jenis semen ditetapkan yaitu PPC (Portland Pozolan Cement)
6. Jenis agregat ditetapkan:
  - Agregat kasar untuk beton normal yaitu : batu pecah malang
  - Agregat kasar untuk beton onyx yaitu : pecahan limbah batu onyx
  - Agregat halus yaitu pasir lumajang
7. Faktor Air Semen bebas ditetapkan yaitu 0,4
8. Faktor air semen maksimum, dalam hal ini ditetapkan 0,6 sesuai tabel 4 pada SNI-03-2834-2000 untuk beton di dalam ruangan keadaan keliling non-korosif.
9. Slump ditetapkan setinggi 60-180 mm
10. Ukuran agregat maksimum ditetapkan yaitu 20 mm (dilihat dari ukuran butiran maksimum pada analisa gradasi ayakan).
11. Kadar air bebas adalah  $205 \text{ kg/m}^3$  dari ( perhitungan  $1/2W_h + 1/3W_k$  )
12. Kadar semen =  $\frac{\text{kadar air bebas}}{\text{faktor air semen bebas}} = \frac{205}{0,4} = 512,5 \text{ kg/m}^3$
13. Jumlah semen minimum yaitu  $275 \text{ kg/m}^3$  tabel 4 pada SNI-03-2834-2000 untuk beton di dalam ruangan keadaan keliling non-korosif.
14. Susunan butur agregat halus dari hasil analisis ayakan yaitu masuk zona 1
15. Persentase agregat halus (bahan yang lebih halus dari 4,8 mm), ditentukan pada grafik 13-15 atau grafik 14 untuk kelompok butir agregat maksimum 20 mm pada nilai slump 60-180 mm dan nilai faktor air semen bebas 0,4. Nilai yang dapat diambil persen agregat halus sebesar 0.44 (44%)

16. Berat isi relatif agregat, ini adalah berat jenis gabungan, artinya gabunga agregat halus dan kasar. Ditentukan dengan rumus berikur:

$$BJ = (\text{persentase agregat halus}) \times (\text{berat jenis agregat halus}) + (\text{persentase agregat kasar}) \times (\text{berat jenis agregat kasar})$$

$$\begin{aligned} BJ \text{ agregat batu pecah normal} &= (0,44 \times 2,52) + (0,56 \times 2,727) \\ &= 2,636 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BJ \text{ agregat limbah batu onyx} &= (0,44 \times 2,52) + (0,56 \times 2,607) \\ &= 2,569 \end{aligned}$$

17. Berat isi beton, diperoleh dari grafik 16 dengan cara membuat grafik linier baru yang sesuai dengan berat isi relatif gabungan untuk agregat normal yaitu sebesar 2,636 kg/m<sup>3</sup>. Titik potong grafik baru ini sesuai dengan garis tegak lurus yang menunjukkan kadar air bebas (dalam hal ini 205 kg/cm<sup>3</sup>), menunjukkan berat isi beton yang dicari yaitu 2360 kg/m<sup>3</sup>.

18. Dan untuk berat isi relatif gabungan untuk agregat limbah batu onyx yaitu sebesar 2,636 kg/m<sup>3</sup>. Titik potong grafik baru ini sesuai dengan garis tegak lurus yang menunjukkan kadar air bebas (dalam hal ini 205 kg/cm<sup>3</sup>), menunjukkan berat isi beton yang dicari yaitu 2310 kg/m<sup>3</sup>.

19. Kadar agregat gabungan dengan agregat batu pecah normal adalah berat isi beton dikurangi kadar air bebas dikurangi kadar semen = 2360 – 205 – 512,5 = 1642,5 kg/m<sup>3</sup>.

20. Kadar agregat gabungan dengan agregat limbah batu onyx adalah berat isi beton dikurangi kadar air bebas dikurangi kadar semen = 2310 – 205 – 512,5 = 1592,5 kg/m<sup>3</sup>.

21. Kadar agregat halus beton normal = persen agregat halus x agregat gabungan  
= 44 % x 1642,5

$$= 722,7 \text{ kg/m}^3$$

22. Kadar agregat halus beton onyx = persen agregat halus x agregat gabungan  
= 44 % x 1592,5

$$= 700,7 \text{ kg/m}^3$$

23. Kadar agregat kasar beton normal = kadar agregat gabungan – kadar agregat halus

$$= 1642,5 - 722,7$$

$$= 919,8 \text{ kg/m}^3$$



$$\begin{aligned}
 24. \text{ Kadar agregat kasar beton normal} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\
 &= 1592,5 - 700,7 \\
 &= 891,8 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel L 1.14 Kebutuhan Campuran Beton Normal

Banyaknya Bahan	Semen	Air	Pasir	Kerikil
	( kg )	( kg/lt )	( kg )	( kg )
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	512,50	205	722,700	919,800
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	20,50	72,27	91,98
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	512,50	216,52	719,262	911,717
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	21,65	71,93	91,17
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1,00	0,40	1,41	1,79
Proporsi (Aktual)	1,00	0,42	1,40	1,78

Tabel L 1.14 Kebutuhan Campuran Beton Onyx

Banyaknya Bahan	Semen	Air	Pasir	Onyx
	( kg )	( kg/lt )	( kg )	( kg )
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Teoritis)	512,50	205	700,700	891,800
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	20,50	70,07	89,18
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	512,50	211,29	697,366	888,842
Tiap campuran uji 0,1 m3	51,25	21,13	69,74	88,88
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1,00	0,40	1,37	1,74
Proporsi (Aktual)	1,00	0,41	1,36	1,73

## LAMPIRAN 2

## DATA PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Tabel L 2.1 Uji Kuat Tekan Beton Normal

No	Kode Beton	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Berat (kg)	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	N1-S1	16/08/2017	14/09/2017	13,25	176,78	30,80	35,72
2	N1-S2	16/08/2017	14/09/2017	13		25,77	
3	N2-S1	16/08/2017	14/09/2017	13,15		30,91	
4	N3-S1	16/08/2017	14/09/2017	13,25		23,11	
5	N4-S1	16/08/2017	14/09/2017	13		31,78	
6	N5-S1	18/08/2017	18/09/2017	13		40,16	
7	N5-S2	18/08/2017	18/09/2017	13,25		43,68	
8	N6-S1	18/08/2017	18/09/2017	13,65		41,78	
9	N6-S2	18/08/2017	18/09/2017	13,3		30,11	
10	N7-S1	18/08/2017	18/09/2017	13,2		38,77	
11	N7-S2	18/08/2017	18/09/2017	13,15		37,67	
12	N8-S1	18/08/2017	18/09/2017	13,1		37,56	
13	N8-S2	18/08/2017	18/09/2017	13,6		39,87	
14	N9-S1	21/08/2017	19/09/2017	13,25		38,71	
15	N10-S1	21/08/2017	19/09/2017	13,05		41,03	
16	N10-S2	21/08/2017	19/09/2017	13		39,87	

Tabel L 2.2 Uji Kuat Tekan Beton *Onyx*

No	Kode Beton	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Berat (kg)	Luas (Cm2)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)
1	O1-S1	21/08/2017	19/09/2017	12,5	176,78	31,78	32,92
2	O1-S2	21/08/2017	19/09/2017	13,15		37,56	
3	O2-S1	21/08/2017	19/09/2017	13,05		32,94	
4	O2-S1	21/08/2017	19/09/2017	12,9		27,56	
5	O3-S1	23/08/2017	20/09/2017	13,15		35,02	
6	O3-S2	23/08/2017	20/09/2017	13,1		31,20	
7	O4-S1	25/08/2017	22/09/2017	13,35		34,67	
8	O5-S1	25/08/2017	22/09/2017	13,2		32,94	
9	O6-S1	26/08/2017	25/09/2017	12,9		32,36	
10	O6-S2	26/08/2017	25/09/2017	13		32,94	
11	O7-S1	26/08/2017	25/09/2017	12,9		37,27	
12	O7-S2	26/08/2017	25/09/2017	13,05		31,72	
13	O8-S1	26/08/2017	25/09/2017	13,25		33,86	
14	O8-S2	26/08/2017	25/09/2017	13,25		27,79	
15	O9-S1	26/08/2017	25/09/2017	13,2		32,53	
16	O9-S2	26/08/2017	25/09/2017	13		31,49	
17	O10-S1	26/08/2017	25/09/2017	13		32,99	
18	O10-S2	26/08/2017	25/09/2017	13,2		35,88	

## LAMPIRAN 3

## DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA

Tabel L 3.1 Pengujian Kuat Tarik Baja Ø8

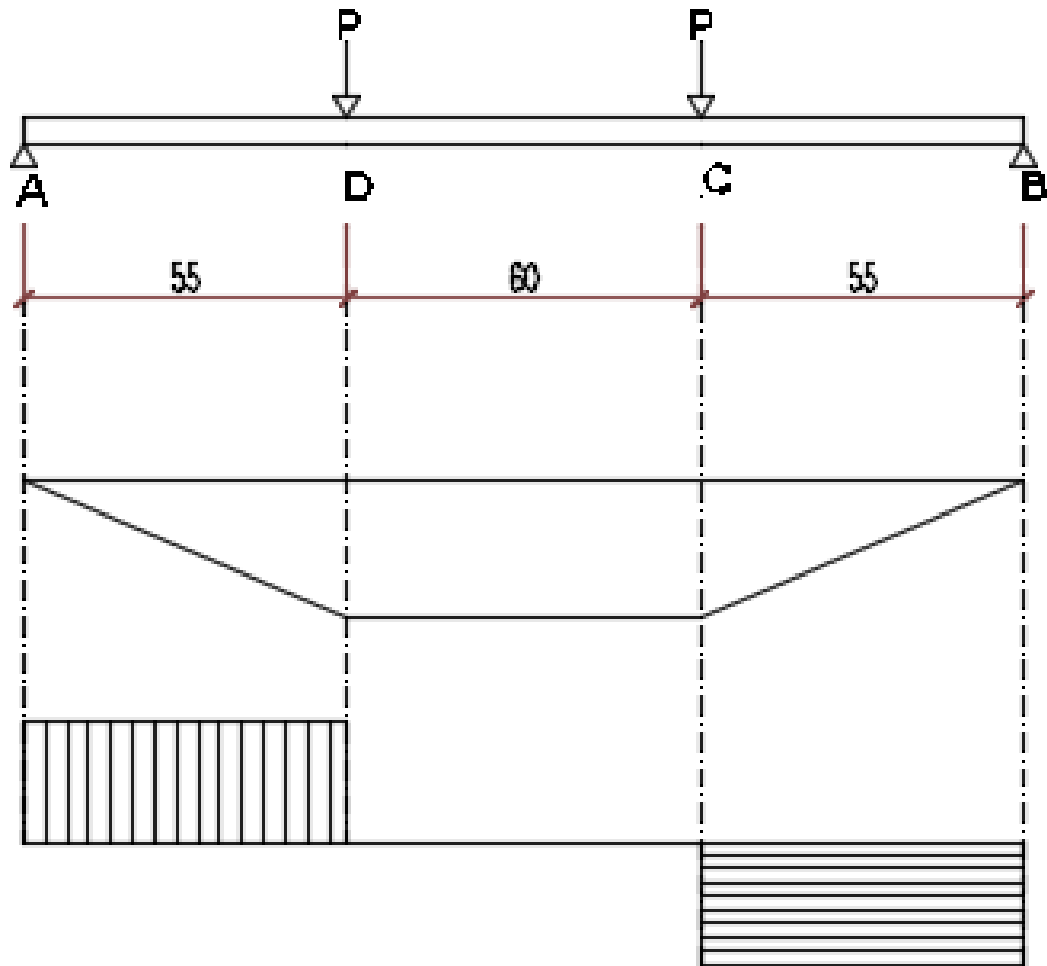
Nama Pengukuran	Ø 8-1	Ø 8-2	Ø8-3	Ø8-4	Rata - Rata	Satuan
Diameter	7,67	7,69	7,45	7,45	7,565	mm
Panjang Awal	80	80	80	80	80,000	mm
Berat	362	364	342	342	352,500	gr/m
Luas Awal	46,16	46,42	43,61	43,61	44,950	mm <sup>2</sup>
Beban Leleh	17,5	17,6	17,5	17,4	17,500	KN
Pertambahan Panjang Leleh	3,5	3,75	3	3,5	3,438	mm
Beban Putus	19	19,2	19,2	18,8	19,050	KN
Pertambahan Panjang Putus	33,5	32	33	36,75	33,813	mm
Py	17500	17600	17500	17400	17500	N
εy	4,375	4,688	3,750	4,375	4,297	%
fy	379,116	379,147	401,284	398,991	389,635	MPa
Pu	19000	19200	19200	18800	19050	N
εu	41,875	40,000	41,250	45,938	42,266	%
fu	411,612	413,615	440,266	431,094	424,147	MPa

Tabel L 3.2 Pengujian Kuat Tarik Baja Ø12

Nama Pengukuran	Ø12-1	Ø12-2	Ø12-3	Ø12-4	Rata - Rata	Satuan
Diameter	11,770	11,790	11,840	11,830	11,808	mm
Panjang Awal	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000	mm
Berat	853,330	855,830	863,330	861,600	858,523	gr/m
Luas Awal	108,847	109,140	110,100	109,890	109,494	mm <sup>2</sup>
Beban Leleh	36,700	37,000	37,300	37,200	37,050	KN
Pertambahan Panjang Leleh	7,000	5,000	6,000	6,000	6,000	mm
Beban Putus	38,500	39,000	39,200	39,300	39,000	KN
Pertambahan Panjang Putus	53,000	50,000	56,000	47,000	51,500	mm
Py	36700	37000	37300	37200	37050	N
εy	5,833	4,167	5,000	5,000	5,000	%
fy	337,170	339,014	338,783	338,520	338,372	MPa
Pu	38500	39000	39200	39300	39000	N
εu	44,167	41,667	46,667	39,167	42,917	%
fu	353,707	357,339	356,040	357,630	356,179	MPa

# LAMPIRAN 4

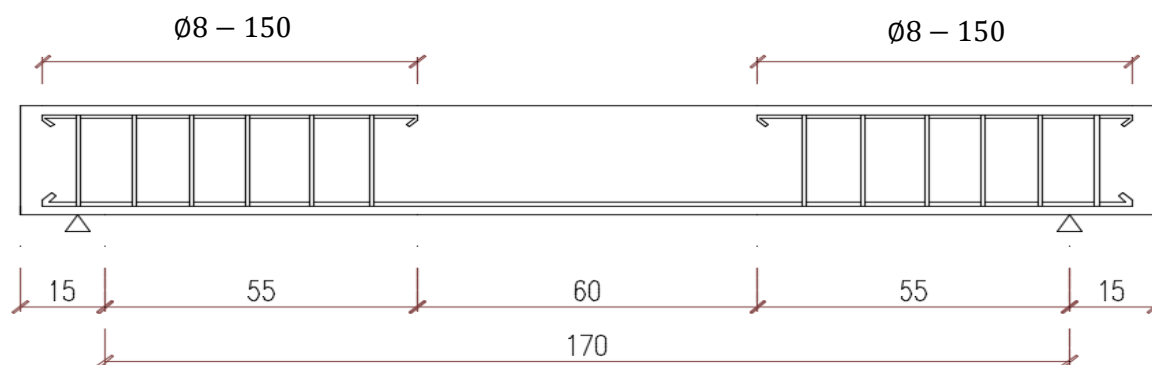
## ANALISIS BALOK



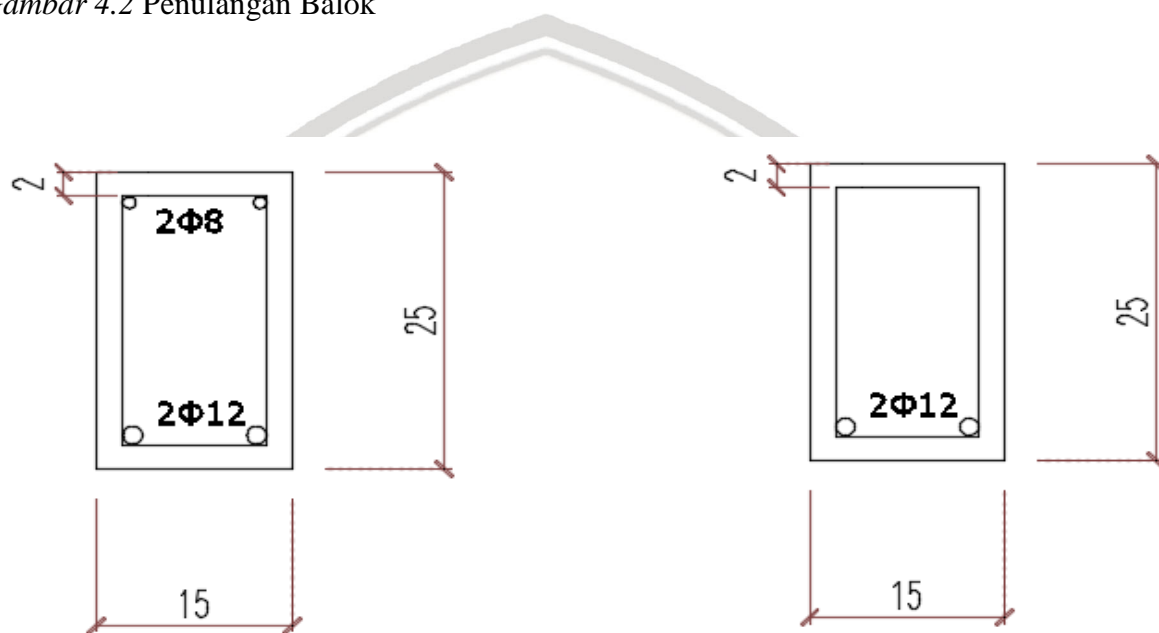
Gambar 4.1 Bidang Momen dan Bidang Gaya Normal

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_A &= 0 & M_u &= M_D \\
 &= 55 P + 115 P - R_B \times 170 & &= R_A \times 55 \\
 &= 170 P - 170 R_B & &= 55 P \\
 R_B &= P & &= R_A
 \end{aligned}$$



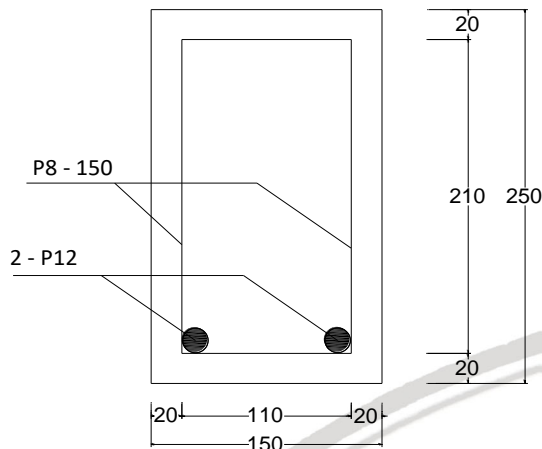


Gambar 4.2 Penulangan Balok



Gambar 4.3 Potongan Balok ujung bentang dan tengah bentang

## Perencanaan Balok



Gambar 4.4 Penampang melintang balok

**Data Perencanaan**

$$f'_c = 32 \text{ MPa}$$

$$f_y = 338,372 \text{ MPa}$$

$$\text{Bentang Balok (L)} = 2000 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan utama} = \varnothing 12$$

$$\text{Tulangan Sengkang} = \varnothing 8$$

$$d = h - (d' + \text{tulangan}) = 250 - (150 + 80 + 60) = 216 \text{ mm}$$

$$P (\text{beban}) = 3000 \text{ kg}$$

Maka,

$$\text{Mu Lapangan} = 3000 * 0,55 = 1650 \text{ kgm}$$

$$V_u = P = 3000 \text{ kg}$$

### Penulangan Lapangan

$$Mu \text{ Lapangan} = 3000 \cdot 0,55 = 1650 \text{ kgm}$$

$$As - \phi 12 = 113 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{338,372} = 0,00413$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( 0,85 \frac{f'_c}{f_y} \beta_1 \frac{600}{f_y + 600} \right)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \left( 0,85 \frac{32}{338,372} 0,85 \frac{600}{338,372 + 600} \right) = 0,0328$$

$$Mn = Mu = 1650 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{1650 \times 10^4}{150 \cdot 216^2} = 2,3577 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} = \frac{338,372}{0,85 \times 32} = 12,44$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{12,44} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,44 \times 2,3577}{338,372}} \right)$$

$$\rho = 0,007299$$

$$0,0058 < 0,007299 < 0,0328 \rightarrow \rho_{min} < \rho < \rho_{maks} \text{ (digunakan } \rho = 0,007299)$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,007299 \times 150 \times 216 = 236,4876 \text{ mm}^2$$

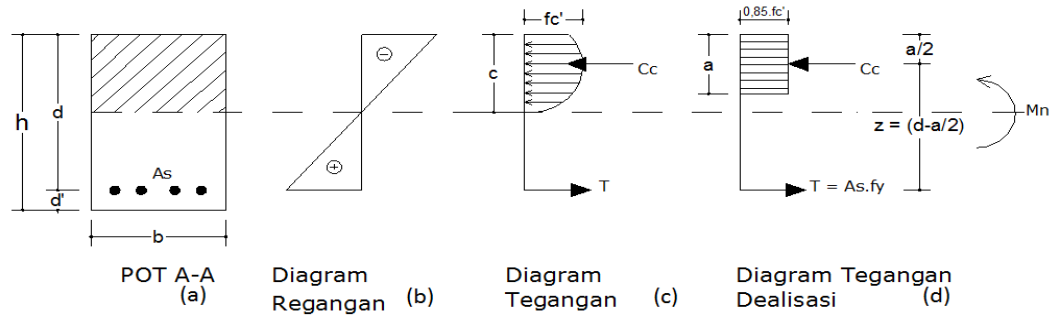
$$\text{Syarat Luas tulangan} = \frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y} \leq As_{min} \leq As$$

$$\frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y} = \frac{1,4 \cdot 150 \cdot 216}{338,372} = 134,054 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d = \frac{0,25 \sqrt{32}}{338,372} 150 \cdot 216 = 135,415 \text{ mm}^2$$

$$\text{Karena } \frac{1,4 b_w \cdot d}{f_y} \leq As_{min} \leq As \text{ maka digunakan } As = 226 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 2-  $\phi 12$



Gambar 4.5 Diagram Tegangan Regangan Balok

### Kontrol

#### a. Keseimbangan Gaya

$$\begin{aligned}
 C &= T \\
 C_c &= T \\
 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b &= A_s \cdot f_y \\
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\
 &= \frac{226 \cdot 338,372}{0,85 \cdot 32 \cdot 150} \\
 &= 18,743 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Letak Garis Netral

$$\begin{aligned}
 f_c &= 32 \text{ Mpa} \\
 \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \cdot ((f_c - 28) / 7) \\
 &= 0,82 \\
 c &= a / \beta_1 = 18,743 / 0,82 \\
 &= 22,818 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### b. Regangan Baja

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \epsilon_c \cdot \frac{d-c}{c} \\
 &= 0,003 \cdot \frac{216 - 22,818}{22,818} \\
 &= 0,0254 > 0,005 \text{ (Tulangan terkontrol tarik)}
 \end{aligned}$$

### Penulangan Geser Balok

a. Gaya geser tumpuan

$$\begin{aligned} V_u &= P \\ &= 3000 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

b. Gaya geser yang disumbangkan beton

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 30547,0213 \text{ N} \\ &= 3054,70213 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Syarat perlu tidaknya sengkang

$$\begin{aligned} V_c &= 3054,70213 \quad \text{kg} \\ V_u &= 3000 \quad \text{kg} > \phi V_c = 2291,026 \text{ kg} \end{aligned}$$

∴ Maka diperlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c &= \frac{3000}{0,8} - 3054,702 \\ V_s &= 695,299 \quad \text{Kg} \end{aligned}$$

Nilai  $V_s$  harus lebih kecil dari :

$$\begin{aligned} \left[ \frac{2 \times \sqrt{f_c'}}{3} \right] \times b_w \times d &= \left[ \frac{2 \times \sqrt{32}}{3} \right] \times 15 \times 21,6 \\ &= 12218,80518 \quad \text{Kg} > V_s \end{aligned}$$

Dipakai sengkang praktis  $\phi 8$

$$\begin{aligned} A_s &= 50,5 \quad \text{mm}^2 \\ A_v &= 101 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{S} &= \frac{101 \times 338,372 \times 216}{S} \\ S &= \frac{101 \times 338,372 \times 216}{695,299} \\ S &= 10616,90968 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{3} \times bw \times d \times \sqrt{f'c} &= \frac{1}{3} \times 150 \times 216 \times \sqrt{32} \\ &= 6109,402589 \quad \text{kg} > V_s \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Maka digunakan sengkang Ø 8-150





## LAMPIRAN 5

## PERHITUNGAN BEBAN IJIN BALOK BETON BERTULANG NORMAL DAN ONYX

$$\begin{aligned}
 f'_c &= 34,435 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 338,37 \text{ Mpa} \\
 h &= 25 \text{ cm} \\
 b &= 15 \text{ cm} \\
 d &= 25 - 2 \cdot 0,8 - (0,5 \times 1,2) \\
 &= 21,6 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times (0,25 \times 22 / 7 \times 1,2^2) \\
 &= 2,2629 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot f_s \\
 &= A_s \cdot 0,6 f_y \\
 &= 4594,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= T \\
 \beta_1 \cdot f'_c \cdot a \cdot b &= 4594,12 \\
 \beta_1 &= 0,85 - 0,008(f'_c - 30)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,8145 \\
 0,804 \cdot f'_c \cdot a \cdot 15 &= 4594,12
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \\
 &= 10,92 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z &= d - (1/2 a) \\
 &= 16,14 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C \cdot Z \\
 &= 74150 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{A.55} &= M_n \\
 R_A &= 1348,2 \\
 P &= 2696,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

## LAMPIRAN 6

### DOKUMENTASI PENELITIAN



*Gambar L 6.1 Limbah Batu Onyx*



*Gambar L 6.3 Pengayakan Agregat Onyx*



*Gambar L 6.2 Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar dan Halus*



*Gambar L 6.4 Pengayakan Agregat Normal*



*Gambar L 6.5 Agregat Halus*





Gambar L 6.6 Penimbangan Air



Gambar L 6.9 Pengukuran diameter baja



Gambar L 6.7 Penimbangan Semen PPC



Gambar L 6.10 Uji tarik beton



Gambar L 6.8 Pemberian minyak pada bekisting silinder



Gambar L 6.10 Bekisting balok dan tulangan





Gambar L 6.11 Pengecoran Beton



Gambar L 6.14 Beton segar silinder



Gambar L 6.12 Uji Slump



Gambar L 6.15 Benda uji silinder dan balok



Gambar L 6.13 Pemadatan beton menggunakan vibrator



Gambar L 6.16 Pengujian kuat tekan silinder Onyx dan Normal



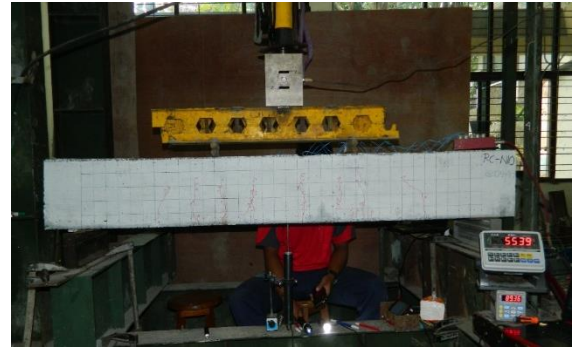
Gambar L 6.17 Pengecetan Balok



Gambar L 6.18 Membuat Garis pada Balok



Gambar L 6.19 Pemasangan Alat



Gambar L 6.20 Pembebanan pada Balok



Gambar L 6.21 Pengujian Kuat Lentur Balok



Gambar L 6.22 Pengamatan Lebar Retak Menggunakan *Microscope Detector*





Gambar L 6.23 Mencatat Lebar Retak setiap Pembebanan

